

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-
krankheiten der Universität Marburg

Direktor: Prof. Dr. med. et Dr. med. dent. H. Heuser

**Vergleichende Untersuchungen
über die Bohr- und Schleifleistungen
verschiedener zahnärztlicher
Präparationsinstrumente bei
unterschiedlichen Versuchsbedingungen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Karl-Ludwig Mootz

aus Dillenburg/Hessen

Marburg 1968

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kiefer-
krankheiten der Universität Marburg

Direktor: Prof. Dr. med. et Dr. med. dent. H. Heuser

Vergleichende Untersuchungen über die Bohr- und Schleifleistungen verschiedener zahnärztlicher Präparationsinstrumente bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Karl-Ludwig Mootz

aus Dillenburg/Hessen

Marburg 1968

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg

Angenommen von der Medizinischen Fakultät

der Universität Marburg am: 29.2.1968

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof.Dr.med. R. Siegert

Referent: Prof.Dr.med.dent. H. Pantke

Correferent: Prof.Dr.med. et Dr.med.dent.habil. H. Heuser

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsangabe

	Seite
A Einleitung	4
B Hauptteil	
I Allgemeine Betrachtungen zum Bohren und Fräsen	6
II Entwicklung, Material und Herstellung zahn- ärztlicher Bohr- und Schleifinstrumente	12
III Versuchsanordnung und Untersuchungsmaterial	20
1. Das Bohrerprüfgerät	20
2. Untersuchungsmaterial	26
IV Untersuchungsergebnisse	30
1. Einfluß von Druck, Zeit und Drehzahl auf die Bohrausbeute von sieben Bohrertypen, von je drei Größen bei Rechtslauf der Bohrmaschine.	30
2. Arbeitsleistung einer Bohrergröße der sieben Bohrertypen mit linkslaufender Bohrmaschine bei Variation von Druck und Drehzahl bei einem Zeitwert.	51
3. Bestimmung der Standzeit der sieben Bohrer- typen bei einer Größe, einem Zeitwert, so- wie einem Druck- und Drehzahlwert bei rechts- laufender Bohrmaschine.	58
a) Bestimmung der Standzeit im Dentin	58
b) Bestimmung der Standzeit in Dentin und Schmelz	64
V Schlußbetrachtung	71
C Zusammenfassung	78
D Literaturangaben	80

A Einleitung

Die Dauerhaftigkeit einer Füllung ist abhängig von der Kavitätenrand- und Kavitätenwandgestaltung sowie der einwandfreien Politur der ausgehärteten Füllung, worüber insbesondere HEUSER gearbeitet hat. Gut finierte und im histologischen Bild glatte Kavitätenwände und -ränder verhindern viel eher das Auftreten einer Sekundärkaries als nur mit groben Bohrinstrumenten bearbeitete Flächen, die im mikroskopischen Bild Unebenheiten aufweisen.

Im Rahmen seiner Dissertation (Marburg 1964) an der hiesigen Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten sind von A. ZELINKA die Einwirkungen von zahnärztlichen Fissurenbohrern auf die Oberfläche der Zahnhartsubstanzen festgestellt worden. Das größte mikroskopische Oberflächenbild lieferte der schrägverzahnte Fissurenbohrer mit Querhieb, diesem folgte der Fissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb, dann der Fissurenbohrer mit schräger Verzahnung ohne Querhieb, während der Fissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb das Oberflächenbild mit den geringsten Rauigkeiten erbrachte. Im unteren Drehzahlbereich zeigten die verschiedenen Größen der einzelnen Fissurenbohrertypen im Vergleich untereinander hinsichtlich der Oberflächengestalt keine großen Unterschiede, bei höheren Tourenzahlen wurde dagegen bei jedem einzelnen Fissurenbohrertyp mit zunehmender Bohrergröße eine Zunahme der Rauigkeiten festgestellt. Die Diamantschleifkörper zeigen gegenüber den Stahlfissurenbohrern noch schlechtere Ergebnisse (KALDEN, ZELINKA, PANTKE). Demnach empfiehlt sich aus oberflächenhistologischer Sicht der Fissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb.

Um eine glatte Kavitätenwand- und Kavitätenrandgestaltung zu erreichen und wie schon oben erwähnt wurde, einer Sekundärkaries möglichst vorzubeugen, müssen alle, von Fissurenbohrern oder Diamantschleifkörpern geschaffenen Rauigkeiten durch Finieren beseitigt werden. Je rauher eine Oberfläche ist, um so größer muß der Zeitaufwand sein, der zur Glättung der Unregelmäßigkeiten aufgebracht werden muß.

Neben der Oberflächengestalt der einzelnen Fissurenbohrergrößen und -typen interessiert deren Arbeitsvermögen an den Zahnhartsubstanzen im Hinblick auf eine rationelle Arbeitsweise. Ziel meiner Arbeit sollte es sein, bei wischender Arbeitsweise die Zerspanungsleistung der verschiedenen Fissurenbohrertypen bei variierenden Drucken, Zeitwerten und Drehzahlen zu messen und einen Vergleich der einzelnen Bohrertypen und -größen anzustellen. Außerdem galt es die Standzeit zu bestimmen und die Bohrausbeute der rechtsumlaufenden Bohrmaschine, der der linksumlaufenden gegenüberzustellen.

Außer den Stahlfissurenbohrern haben wir in das Untersuchungsprogramm noch Hartmetallbohrer mit und ohne Querhieb, sowie Diamantschleifkörper aufgenommen. Walzenförmige Karborundumsteinchen gab es in den von mir untersuchten Größen nicht. Sie haben in letzter Zeit auch an Bedeutung verloren, weil sie sich einmal zu schnell abnutzen und zum anderen durch unregelmäßige Abnutzung rasch ihre ursprüngliche Form verlieren.

B Hauptteil

I. Allgemeine Betrachtungen zum Bohren und Fräsen

Bevor wir die Versuchsanordnung beschreiben und auf die Versuchsergebnisse eingehen, erscheint es uns zweckmäßig, die Grundbegriffe des Bohrens und Fräsens zu erörtern, weil in der Arbeit immer wieder Ausdrücke aus diesem speziellen technischen Bereich gebraucht werden.

Der technische Überbegriff der Arbeit, von den, in der zahnärztlichen Praxis benutzten und ganz allgemein als Bohrer bezeichneten Instrumenten heißt spanabhebende Bearbeitung.

" Das ursprünglich spanabhebende Werkzeug in der zahnärztlichen Praxis ist der Exkavator, der bei drehend-schiebender Bewegung einen Span aus dem Zahnmaterial herauslöst" (SEYPPEL). ROSE sagt dazu, "daß zwei- oder mehrschneidige Bohrer als kombinierte Exkavatoren aufzufassen sind, während bei Fräsern diese kombinierten Exkavatoren übereinander angeordnet sind". Allgemein gehören unsere zahnärztlichen Bohrer sowohl zu den Bohrern im eigentlichen Sinne, als auch zu den Fräsern.

Als Bohren wird eine Materialbearbeitung in Richtung der Achse des rotierenden Werkzeugs bezeichnet. Bohrer sind also vor Kopf scharf, wie zum Beispiel ein Spiralbohrer.

Als Fräsen wird eine Materialbearbeitung verstanden, die senkrecht zur Richtung der Achse des umlaufenden Werkzeuges erfolgt. Ein Fräser hat auf seinem Schneidenmantel eine Anzahl gleichartiger Zähne mit ihren Schneiden, stellt also eine Addition von geschärften Messerchen, bzw. Keilen dar (MEYER). Zu den Fräsern gehören beispielsweise Fissurenbohrer und walzen- sowie flammenförmige Finierer. "Die Rosenbohrer gehören einmal zu den eigentlichen Bohrern, weil die Hauptschneide die aus dem Niveau der Nebenschneiden heraustritt und als Vorschneide wirkt, bohrend in das Material eindringt, zum anderen sind sie den Fräsern zuzuordnen, weil die Nebenschneiden fräsende Arbeit leisten" (MALLEBRÉ).

Da wir in der Arbeit neben Diamantschleifkörpern nur Fissurenbohrer benutzten, wollen wir die grundsätzliche Zer-

spanungsarbeit am Fräser beschreiben.

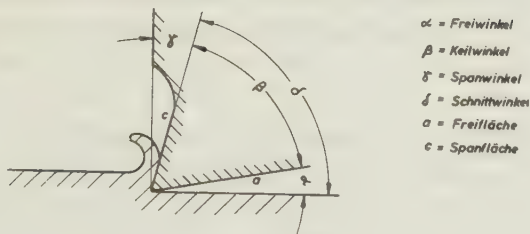


Abb. 1

Winkelverhältnisse am Fräserzahn

Aus der Abbildung 1 geht das Bauprinzip eines Fräasers hervor. Man unterscheidet verschiedene Winkel und Flächen, die in Anlehnung an MEYER und LEYENSETTER näher beschrieben werden sollen.

Freiwinkel

Unter Frei- oder Anstellwinkel (α) versteht man den Winkel, den Werkstoffoberfläche und Freifläche (a) bilden. Er macht das Werkzeug vom Werkstoff frei, da es sonst darauf schleifen würde, außerdem setzt er Reibung und Erwärmung des Werkzeuges herab und erhöht somit die Lebensdauer der Schneiden. Harte Werkstoffe erzeugen geringere Reibung, deshalb wählt man für sie kleinere Freiwinkel als für weichere Werkstoffe.

Keilwinkel

Der Keil- oder Meißelwinkel (β) ist der Winkel zwischen Spanfläche (c) und Freifläche (a). Seine Größe richtet sich nach der gewünschten Fräsarbeit und dem Material von Werkzeug und Werkstoff. Je kleiner der Keilwinkel, um so geringer ist der Kraftaufwand am Werkzeug; je weicher der Werkstoff ist, um so kleiner kann der Keilwinkel gestaltet werden.

Ist der Winkel größer als 90° , kommt es zu einem Schabvorgang, das Werkzeug tritt nicht mehr in den Werkstoff ein, sondern arbeitet an der Oberfläche (MALLEBRE, HUET). Eine solche Arbeit wird beim Linkslauf der zahnärztlichen Bohrmaschine geleistet.

Spanwinkel

Als Spanwinkel (γ) wird der Winkel zwischen Spanfläche (c) und gedachten Senkrechten dazu auf den Werkstoff bezeichnet. Er gibt die Voraussetzung für die Spanbildung, auch hängt von seiner Größe die Art der Spanbildung ab (Reißspan, Scherspan, Fließspan).

Schnittwinkel

Der Schnitt- oder Schneidwinkel (δ) ergibt sich aus der Addition von Freiwinkel (α) und Keilwinkel (β). Er ändert sich andauernd, weil je nach der Stellung der Fräterschneiden zum Werkstoff der Freiwinkel einen anderen Wert hat.

Beim Eindringen der Schneiden ist er groß und verkleinert sich immer weiter, bis die Schneide das Material verläßt. Die Leistung eines keilförmigen Werkzeuges ist um so größer, je kleiner der Schneidwinkel ist - bei möglichst kleinem Frei- oder Anstellwinkel. Die Grenzen sind durch die Festigkeit des Werkzeugmaterials gegeben (Ausbrechen, Stumpfwerden) und durch die Eigenschaften des Werkstoffes vorgeschrieben.

Ansatzwinkel

Darunter versteht man den Winkel, den zwei nebeneinanderliegende Schneiden bilden.

Spanfläche

An der Spanfläche (c) gleitet der Span entlang.

Die Fräser werden nach Form und Art der Besetzung mit Zähnen in gradgenutete und in spiralgezahnte Walzenfräsen unterschieden. Beide Formen kennen wir bei unseren zahnärztlichen Fissurenbohrern.

Gradgenutete Walzenfräsen arbeiten stoßweise, weil die Schneiden auf der ganzen Länge gleichzeitig zum Schnitt ansetzen. Um einen ruhigen Lauf zu erzielen ordnet man die Schneiden spiralförmig an, so daß gleichzeitig mehrere Schneiden im Einsatz sind (MEYER).

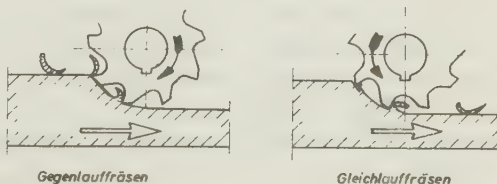
Den Winkel, den die spiralförmig angeordneten Schneiden zur Bohrerachse bilden, nennt man Drallwinkel. Je größer dieser ist, um so kleiner wird der effektive wirksame Keilwinkel, damit steigt die Schneidleistung, der achsiale Druck wird größer und ein Einfressen des Fräasers in das Material wird begünstigt.

Die Art des zu bearbeitenden Werkstoffes spielt selbstverständlich eine große Rolle bei der Spanbildung. Harte und spröde Stoffe geben keine zusammenhängenden Späne, sondern nur kurze Spanteilchen; zähe und weiche Werkstoffe neigen zur Fließspanbildung. MALLEBRE stellte eine rupturielle einer spananhebenden Verformung gegenüber, dabei läuft erstere beim Bearbeiten von Zahnschmelz an. Es werden also, bedingt durch die Härte und den Aufbau des Schmelzes aus Prismen mit der dazugehörigen organischen Zwischensubstanz, während des Fräsvorganges kleine Teilchen aus dem Schmelzverband gesprengt. Bei der Dentinbearbeitung sieht MALLEBRE Übergänge von der spanabhebenden zur rupturiellen Verformung.

Da bei der Kavitätenpräparation in einer steten Hin- und Herbewegung das Zahnmaterial abgetragen wird, die Richtung des rotierenden Instrumentes aber gleich bleibt, wollen wir noch zwei Begriffe erläutern: das Gleichlauf- und das Gegenlauffräsen, siehe Abb. 2

Abb. 2

Gleich- und Gegenlauffräsen. Unterschiedlicher Einsatz der Fräferschneiden und auch Abwurf der Späne.



Als Gegenlaufräsen bezeichnet man einen Fräsvorgang, bei dem der Vorschub des Prüfmaterials gegen die Drehrichtung des umlaufenden Fräasers erfolgt. Dabei finden die Fräserzähne anfangs infolge des kleinen Spanwinkels nur geringe Möglichkeit in den Werkstoff einzudringen. Sie schaben zunächst bis der Druck groß genug ist, in das Prüfmaterial einzufassen. Die Späne, die immer stärker werden und umgekehrt kommaförmige Gestalt haben, werden vor dem Fräser auf dem noch nicht bearbeiteten Werkstoff angehäuft. Dementsprechend ändert sich auch die Größe des Schnittwiderstandes und der erforderlichen Schnittkraft ständig. Das Gleichlaufräsen ist ein Vorgang, bei dem der Werkstoffvorschub und die Drehrichtung des rotierenden Werkzeuges in einer Richtung liegen. Hierbei beginnt die Spanabfuhr mit dem Abscheren des stärksten Spanquerschnittes, die Späne werden auf den schon bearbeiteten Werkstoff geworfen (MEYER, LEYENSETTER).

An Leistung ergibt sich die Zerspanungsmenge v. Sie ist ein Produkt aus Frästiefe a, der Fräsbreite b, der Drehzahl n, der Schneidenzahl z und dem Vorschub pro Schneide sz, dabei ist

$$\frac{\text{Vorschub/min}}{\text{Schneidenzahl} \cdot \text{Drehzahl}} = sz \qquad v = a \cdot b \cdot n \cdot z \cdot sz$$

"Mit höheren Drehzahlen nimmt der Vorschub pro Schneide insgesamt zu, so vergrößert sich bei Verdoppelung der Drehzahl die Zerspanungsmenge nicht nur um das zweifache, sondern zusätzlich um den variierenden Betrag des Vorschubs pro Schneide" (ADLER). Die Anzahl der Zähne beeinflusst die Schnitthaltigkeit des Fräasers und die Gestalt der Werkstoffoberfläche. Ein ruhiger Lauf der Bohrer kann durch Spiralverzahnung und große Zahnzahl, bei geringer Schnitttiefe der einzelnen Schneide erzielt werden.

Um das Leistungsvermögen unserer Fissurenbohrer zu erhöhen, hat man sie mit Querhiebrillen versehen. Diese wirken spanbrechend, bedeuten aber auch eine Schwächung der Schneiden und eine Verkürzung der Lebensdauer.

"Die Wirkung des Querhiebs liegt nur an den Kanten der Schneiden, die Tiefe des Querhiebs ist ohne Bedeutung. Sind die Querhiebrillen zu tief, ist die Folge der übergroßen Schwächung

der Schneiden, daß diese abbrechen. Sind sie aber zu flach, setzen sie sich leicht mit Schmelz- oder Dentinteilchen zu. Bei gewindeförmig eingefrästen Querhiebrillen dürfen diese nicht bis in den Bohrerkopf hineinlaufen, da der Bohrer sonst wie ein Gewindebohrer arbeitet und sich in das Material einschraubt" (FUNKE).

II. Entwicklung, Material und Herstellung zahnärztlicher Bohr- und Schleifinstrumente

Wie wir bei MALLEBRE, FUHR, GASSMUS, MENTLER, ONTRUP und EICHNER lesen können, gehen die ersten Berichte über Bohrer, die in der Heilkunde Verwendung fanden, in eine frühe Zeit zurück.

Sie wurden zunächst nicht zur Bearbeitung der Zähne benutzt, sondern, wie SUDHOFF berichtet, dienten sie schon in der Steinzeit zur Trepanation von Schädeln (FUHR).

Die Ägypter und Inkas sollen ebenfalls solche Operationen durchgeführt haben (FUHR). HIPPOKRATES (400 vor Christi) beschreibt schon einen Drillbohrer zur Trepanation und CELSUS (um Christi Geburt) gibt zwei Arten dieser Bohrer an (GASSMUS). "Aus den Schriften von GALENOS (129-200 nach Christus) wissen wir, daß im ersten Jahrhundert Archigenes aus Aganeaia erstmals Zähne mit drillbohrerähnlichen Instrumenten bearbeitete" (MALLEBRE). In Deutschland verwendet CORNELIUS VAN SOOLINGEN (1686) einen Kugelbohrer, ein handgetriebenes, rotierendes Gerät zum Ausbohren von Zähnen. PIERRE FAUCHARD (1728) betreibt seine eigenen, handgearbeiteten Bohrer mit Drillapparat und Fidelbogen und konnte nach WALKHOFF-HESS die Bohrer schon auswechseln (FUHR). Eine ähnliche Konstruktion schuf LINDNER 1797 (MALLEBRE). JOHN TOMES beschreibt 1859 drei Bohrertypen, den Rosenkopfböhrer mit kurzem Schaft, einen langen Handbohrer, Schneiden entlang des Schaftes (er kann als Vorläufer unseres Fissurenbohrers angesehen werden) und den Bohrer mit langem Stahlschaft, der mit zwei Schneideblättern versehen ist (GASSMUS).

Um die Rotation des Bohrers zu erzielen, war es üblich, das Bohrerende in einen Fingerring zu stecken und mit der Hand am Schaft zu drehen (GASSMUS). HARRINGTON baute 1864 mit Hilfe eines Uhrwerkes eine Apparatur - seinen ERADO - , in die Bohrer eingebracht wurden und mechanisch angetrieben werden konnten. Die Laufzeit betrug zwei Minuten (EICHNER). Im Jahre 1867 wurde im Katalog der amerikanischen Dentalfirma S.S.WHITE/Philadelphia

ein "gates nerv and bur drill" beschrieben, dabei bedeutet bur kugelige, stachelige Frucht und diente als Beiwort zu drill, lediglich der Formbeschreibung. Von dieser Bezeichnung bur soll sich unser Begriff Zahnbohrer ableiten, eigentlich eine falsche Bezeichnung, weil es sich technisch um Fräser handelt (MALLEBRE).

Der Amerikaner GREEN baute als erster eine fußgetriebene Bohrmaschine, die dann von MORRISON und WHITE verbessert 1870 auf den Markt gebracht wurde (MALLEBRE). Einige Jahre später wurde sie auch in Europa eingeführt, wo sie sich ebenfalls sehr schnell durchsetzte. Erst die serienmäßige Herstellung der Fußtretbohrmaschine verhalf auch dem Zahnbohrer zum endgültigen Durchbruch. Die Entwicklung der Bohrer im 19. Jahrhundert führte nach HERBER zu vier verschiedenen Typen: der runden Fräse, dem Exkavatorbohrer, dem Unterschnittbohrer und dem Nervkanalgleitbohrer (GASSMUS).

Der Zahntechniker C. RAUHE versuchte 1872 als erster in Deutschland die Bohrer fabrikmäßig herzustellen (MENTLER, MALLEBRE). Dabei wurden in einen runden Bohrerkopf mit der Hand Schneiden eingefeilt. Die Nachteile dieser Methode waren unregelmäßige Schneidentiefe, variierender Schneidenwinkel und toter Punkt am Pol des Bohrers, weil die Schneiden am Pol ausliefen und deshalb bei achsialer Belastung keine Bohrleistung erzielt wurde (MALLEBRE).

1885 gründete EHRLICH seine Zahnbohrerfabrik, brachte den Quersahnbohrer in den Handel und auch den Fissurenbohrer mit geraden und gewundenen Schneiden. Da bei letzterem die auf der zylindrischen Stahlwalze angebrachten Schneiden von Fissuren unterbochen wurden, leitet sich von daher wohl der Name "Fissurenbohrer" ab. Diese Bohrer wurden mit und ohne Spitze hergestellt und dienten der Eröffnung einer Höhle und der Schmelzbearbeitung, wobei durch Auf- und Abwärtsbewegung auch eine Sägewirkung erzielt werden konnte (GASSMUS).

Im Jahre 1890 konstruierte der Hofzahnarzt SCHNEIDER / Erlangen die erste elektrisch getriebene Bohrmaschine (ONTRUP). Später hatte man bei den Bohrern, deren Schneiden sternförmig

am Bohrerkopf zusammenliefen und dort einen toten Punkt bildeten, durch Ausbohren eines Loches an dieser Stelle versucht die Leistung zu steigern. Der Gewinn war jedoch äußerst gering, weil beim Arbeiten in achsialer Richtung eine Dentinsel stehen blieb und das Vordringen des Bohrers in das Material verhinderte (MALLEBRE).

Einen großen Fortschritt erzielte die Firma S.S.WHITE 1910 mit ihrem Revelationbohrer, bei dem eine über den Bohrerpol verlaufende Kopfschneide sowie die exzentrische Anordnung der Messerchen, die von der Spitze des Bohrerkopfes in leicht s-förmig geschwungener Linie seitlich am Bohrerschaft zusammenliefen, eine bessere Spanabfuhr, gesteigerte Bohrleistung und einen Verlust an Reibungswärme ergaben.

Eine weitere Verbesserung gelang 1929 FUNKE mit seinem Neotyp, einem Zweischneider wie bei technischen Bohrern. Die Kopfschneide mit ihren beiden Seitenschneiden bilden eine gemeinsam vorspringende Hauptschneide, die als Vorschneide bohrend wirkt, bevor die anderen sechs Nebenschneiden fräsend in das Material eindringen.

Später kamen dann Konstruktionen wie die HOLLMANN'sche Bohrschaufel, ein acht-Schneiden Rundbohrer, bei dem die Kopfschneide extrem weit vorspringt, der Querhiebbohrer, ein Rundbohrer dessen einzelne Schneiden durch quere Nuten unterteilt sind und der Spanbrechbohrer, ein Sonderfall des Querhiebb Bohrers, bei dem nur die vorspringende Hauptschneide Nuten trägt (MALLEBRE).

Heute unterscheiden wir bei den Bohrern vier verschiedene Gruppen: Kavitätenbohrer, Fissurenbohrer, Wurzelkanalbohrer sowie Finierer und Polierer (FUHR).

Bis ungefähr 1940 lieferten unsere Bohrmaschinen nur 3000 bis 4000 Umdrehungen pro Minute, heute können wir ohne Schwierigkeiten 15 - 20 000 Umdrehungen pro Minute erreichen (ONTRUP), mit Hilfe von Übersetzungsverbindungen zwischen Doriotgestänge und Handstück und durch Übersetzungshand- und -winkelstücke kann diese Drehzahl sogar noch beträchtlich ge-

steigert werden. Mit den modernen Turbinengeräten können gar Tourenzahlen von 500 000 Umdrehungen pro Minute erzielt werden.

Wegen dieser ständigen Drehzahlerhöhung mußte auch das Material aus dem unsere Bohrinstrumente gefertigt werden weiterentwickelt und verbessert werden, um eine optimale Bohrleistung zu gewähren.

Genügte der Stahlbohrer bis zu einer Umdrehungszahl von 6000 Umdrehungen pro Minute noch den an ihn gestellten Anforderungen (ONTRUP), so traten bei höheren Tourenzahlen erhöhter Verschleiß und vermehrte Wärmebildung auf.

Bis 1910 wurde noch einfacher Kohlenstoffstahl mit 0,5 bis 2 % Gehalt Kohlenstoff zur Herstellung der Bohrer verwendet, danach wurden sie aus legierten Stählen gefertigt. Durch Zusätze verschiedener Legierungsmetalle (Wolfram, Nickel, Kobalt, Chrom, Vanadium, Iridium u.a.) konnten die Eigenschaften des Stahls bezüglich Festigkeit, Streckgrenze, Dehnung, Einschnürung, Kerbzähigkeit, Torsion, Stauchung usw. verändert werden. Nach PROELL war Wolframstahl mit einem Gehalt von 0,5 bis 2 % Wolfram am geeignetsten.

Je nach Anzahl der einzelnen Legierungsanteile unterscheidet man:

- 1) Binärstähle (z.B. gewöhnlicher Kohlenstoffstahl)
- 2) Ternärstähle (z.B. Wolframstahl)
- 3) Quaternärstähle (z.B. Chrom-Wolfram Stahl)
- 4) komplexe Stähle (z.B. Chrom-Wolfram-Vanadium Stahl)

Da diese Stähle ein silberfarbenes Aussehen haben, werden sie auch als Silberstahl bezeichnet. Auch heute werden die Stahlbohrer aus hochlegiertem Silberstahl hergestellt (FUHR,MENTLER).

Der Stahl ist eine Legierung, die neben dem Hauptelement Eisen die Elemente Kohlenstoff, Mangan und Silitium enthält. Eine der bedeutensten Eigenschaften der Stähle ist die Vergütbarkeit, die eine Veredlung der Legierungseigenschaften bedeutet, wozu der Prozess des Härtens und Anlassens gehört. Dazu ist ein Mindestgehalt von 0,4 % Kohlenstoff notwendig

(MEYER, PACK). So kann die Naturhärte durch Härten gesteigert werden. Dies beruht darauf, daß der in flüssigem Eisen gelöste Kohlenstoff beim Abschrecken als Härtungskohle im Eisen gelöst bleibt, Karbidkohle wird also an der Ausscheidung gehindert (REBEL).

Das Härten geschieht im offenen Feuer (Schmiedefeuer) oder in elektrischen Härteöfen bei einer der Stahlsorte angemessenen Temperatur. Der glühende Stahl wird in der Härteflüssigkeit (Wasser, Öl, Quecksilber, Salzlösungen) abgeschreckt oder abgelöscht und an der Luft abgekühlt. Danach ist er äußerst hart, aber auch sehr spröde (REBEL).

Unser Bohrermaterial wird je nach Legierung auf 750° bis 850° Celsius erhitzt und dann plötzlich abgeschreckt, es hat dann Maximalhärte, ist aber zum Bohren zu spröde. Durch Anlassen (150° bis 300° Celsius) wird die Zähigkeit heraufgesetzt, die Härte gemindert, das Material wird im Rahmen einer Gefügeregulierung spannungsfrei gemacht (HOUDREMONT, MALLEBRE).

Mit der Steigerung der Tourenzahlen unserer Bohrmaschinen, besonders aber mit der Konstruktion der Turbinengeräte setzte sich das Hartmetall als Material zur Bohrerherstellung immer mehr durch.

Das Hartmetall kann nicht in die Gruppe des Stahls eingeordnet werden, weil es kein Eisen enthält, es ist vielmehr ein Sintermetall, das aus Wolframkarbid und Kobalt besteht. Unter Sintern versteht man ein Zusammenbacken mehrerer Stoffe bei Teigigwerden des Bindemittels (LEYENSETTER).

MOISSAN entdeckte 1896, daß das Wolframkarbid von außergewöhnlicher Härte ist. Seit dieser Zeit wurde mit dem Werkstoff laboriert, bis es 1914 VOIGTLÄNDER und LOHMANN gelang Formkörper aus Wolframkarbidlegierungen herzustellen. Die Firma KRUPP brachte 1927 ihr Sintermetall unter der Bezeichnung WIDIA auf den Markt. Feingemahlenes Wolframkarbid wird mit feinkörnigem Kobalt, das als Bindemittel gebraucht wird, vermengt. Die Masse wird auf 1500 bis 1600° Celsius erhitzt, wobei sie teigartig und homogen wird, dann in die endgültige Form gebracht und abgekühlt. Dem Wolframkarbid können zwecks

Modifikation der Eigenschaften noch Titan-, Vanadium- und Tantal-
karbid zugesetzt werden. Für die Herstellung von Hartmetall-
bohrern wird das Deutsche Hartmetall H₁ und H₂ verwendet.

Das Deutsche Hartmetall H₂ hat als härteste Legierung
folgende Zusammensetzung:

Wolframkarbid	91,5 %	Tantalkarbid	1,0 %
Vanadiumkarbid	0,5 %	Kobalt	7,0 %

(MEISINGER-BRIEF 1, BONSACK, GASSMUS)

Aus technischen Gründen besteht bei unseren Hartmetall-
bohrern nur der Schneidenanteil aus Hartmetall, der Schaft ist
aus einem Silberstahl gefertigt. Bei der Herstellung wird der
vorgeformte Hartmetall-Rohling in einem Spezialverfahren an
den Schaft gelötet und dann in seine endgültige Form gebracht.

Hartmetalle sind außergewöhnlich hart und spröde, aus
diesem Grund auch sehr unelastisch. Das bedeutet bei falscher
Belastung erhöhte Bruchgefahr der Schneide. Deswegen haben
Hartmetallbohrer eine geringere Schneidenzahl, bei stärkerer
Schulter der einzelnen Schneiden. Die Hartmetallbohrer sind bis
ungefähr 900° Celsius hitzebeständig, die Lötstelle allerdings
nur bis ca. 400° Celsius. Bohrer aus diesem Metall können des-
halb hohe Schnittgeschwindigkeiten und hohe Reibungstemperaturen
aushalten.

Beim Arbeiten mit Hartmetallbohrern sind einige Vorsichts-
maßregeln zu beachten. Man darf nicht hebeln und sollte den
Bohrer nicht erst in der Kavität anlassen, wenn er schon in
Materialkontakt steht (WALDSAX).

DENTATUS empfiehlt folgende Punkte zu beachten (BONSACK) :

- 1) Vermeidung von Schwingungen, da sie für die feinen Schneiden
schädlich sind.
- 2) Vermeidung von starkem Druck und kleinen Drehzahlen wegen
der Bruchgefahr der Schweißstellen.
- 3) Schonung der scharfen Bohrerschneiden beim Ansetzen -
deshalb hochtourig ansetzen.
- 4) Die Grenzzonen verschiedener Härten (Schmelz/Dentin) sollen
wegen der Bruchgefahr der Schneide oder der Schweißstelle
vermieden werden.

- 5) Wenn die Kavität tiefer als die Bohrerhöhe ist, muß der Schaft geschont werden, es darf wegen Bruchgefahr nicht auf dem Kavitätenrand aufgestützt werden.
- 6) Porzellan und rostfreier Stahl verderben den Bohrer in kürzester Zeit.
- 7) Die Bohrer dürfen nicht mit H_2O_2 oder mit Mischungen, die H_2O_2 enthalten in Berührung kommen.
- 8) Die Bohrer dürfen wegen Bruchgefahr nicht nach links laufen.
- 9) Es sollen die Ecken der Bohrer nicht gegen gesunde Schmelzflächen geführt werden, weil sonst die Schneiden abbröckeln.
- 10) Hebelbewegungen zwischen Schmelzwänden sind zu vermeiden, man arbeite mit Bohrergrößen, die eine freie Bewegung in der Kavität ermöglichen.

Da die Hartmetalle von einigen Desinfizientien (H_2O_2 und Jod) angegriffen werden (ADLER), sollten sie nach WALDSAX mit Heißluft, Heißöl oder Heißdampf sterilisiert werden.

Während die Vickers-Härtegrade des normalen Stahls (Silberstahl) zur Zahnbohrerherstellung zwischen 750 - 850 VH liegen, weist das Hartmetall Vickers-Härtewerte zwischen 1500 und 1800 auf (ADLER). In unseren Versuchsreihen wurden aber auch Diamantschleifkörper untersucht - die Härte des Diamanten liegt um 10 000 Vickers-Härtegrade (ONTRUP).

Im einzelnen sei zu diesen Schleifkörpern noch bemerkt: Auch sie leisten eine spanabhebende Arbeit, doch haben sie nicht wie die Fräser definierte Schneiden, denn die aus der Oberfläche herausragenden Kristalle bilden mit ihren Kanten und Ecken unregelmäßige Schneiden. Die Kristalle sollen wegen der Abfuhr der freigebohrten Masse nicht zu eng stehen, weil sonst die Schleifkörperoberfläche verschmiert und vermehrt Wärme entsteht. Die Schneidleistung ist abhängig von der Zahl und der Größe der Diamantkristalle, so wie den Eigenschaften des Werkstoffes (MEISINGER-BRIEF 5). Dabei steigt die Schneidleistung im Quadrat zur Korngröße. Hoher Druck ist beim Arbeiten mit Diamantschleifkörpern nicht angezeigt, da die Diamant-

splitter nur bis zur Ebene des Bindemittels in das Material eindringen können.

Die Probleme bei der Herstellung dieser Schleifkörper sind einmal die Anfertigung von gleichmäßig großen Kristallen, die Ordnung dieser in Richtung zur Schleifebene und zum anderen die Befestigung der Diamantsplitter auf dem Metallträger. Denn der Druck, der beim Arbeiten auf die Kristalle ausgeübt wird und sich auf deren Basis in der Befestigungsmasse fortpflanzt, darf nur so groß sein, wie es die Festigkeit des Bindemittels zuläßt. So ist der härteste Schleifkörper wenig sinnvoll, wenn er schon bei geringen Druckwerten aus seiner Verankerung auf dem Trägermetall gerissen wird.

Erstmals - um 1920 - stellte man diamantierte Kupferkegel her. Dabei wurde Diamantstaub auf den Kupferträger aufgehämmert oder in ihn eingewalzt. Diese Instrumente wurden nur für die letzte Feinarbeit verwendet, ihre Lebensdauer war äußerst gering. Um 1925 trennt man sich von dieser Herstellungsart und preßte die aus dem Rohdiamant gewonnenen Kristalle vorsichtig in einen glühenden Kupfermantel ein. Später gelang es dann die Diamantkristalle geordnet und unverletzt in einem galvanoplastischen Verfahren auf das Trägermetall aufzubringen und sie so mit einem Panzermetall zu umgeben, daß ungefähr ein Drittel ihrer Größe in das Schleiffeld hineinragten (ONTRUP, Mitteilungen der Firma DRENDEL und ZWEILING).

So haben sich mit der Erhöhung der Drehzahlen unserer Bohrmaschinen auch die Werkzeugmaterialien und die Präzision der Bohr- und Schleifinstrumente weiterentwickeln müssen. Heute wird allgemein empfohlen den Schmelz mit Diamantschleifkörpern oder Hartmetallbohrern zu bearbeiten, eventuell auch noch mit Karborundumsteinchen. Für die Arbeit an Dentin sind die normalen Stahlbohrer ausreichend (REBEL, HUET).

III. Versuchsanordnung und Untersuchungsmaterial

1. Das Bohrerprüfgerät

Bei der Konstruktion des Bohrerprüfgerätes war es notwendig auf folgendes zu achten: es mußte Veränderungen der Schleifzeit, des Bohr-, bzw. Schleifdruckes und der Drehzahl des umlaufenden zahnärztlichen Instrumentes zulassen, außerdem sollte eine wischende Arbeitsweise nachgeahmt werden.

Wir haben diese Forderungen durch folgende Konstruktion gelöst: wie aus den Abbildungen 3 und 4 ersichtlich ist, sind die beiden Hauptbauelemente der Apparatur ein Hebel mit einer Belastungs- und einer Arbeitsseite, sowie einer Halterung für das Handstück. Als Nebenbauteile fungieren eine Vorrichtung am Hebel, mittels der wir die Arbeitszeit bestimmten und ein Elektromotor, der über eine exzentrische Scheibe und eine Koppelstange das Handstück hin und her bewegte.

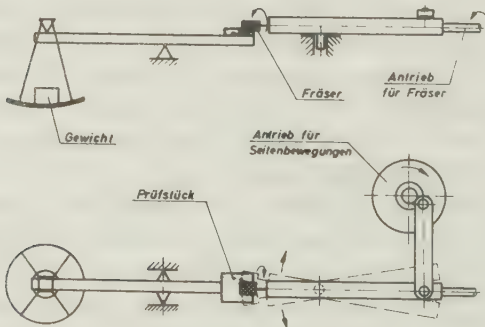


Abb. 3

Seitenansicht (oben) und Aufsicht (unten)
des Bohrerprüfgerätes

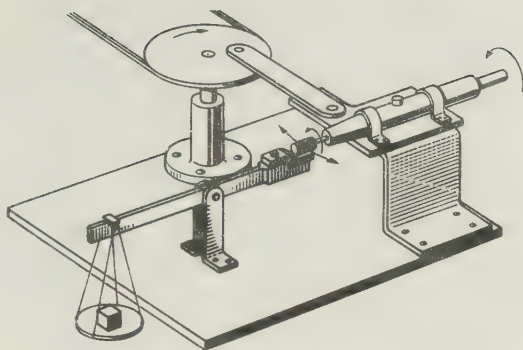


Abb. 4

Schrägansicht des Bohrerprüfgerätes

Auf einem Bodenbrett wurden zwei rechtwinklig abgebogene Halter befestigt. In diese hängten wir mittels einer Nadel-lagerung den Hebel auf. Diese Lagerung hat den Vorteil, daß die Reibung sehr gering ist. Die Belastungsseite des Hebels hatte eine Länge von 22 cm und die Arbeitsseite eine solche von 7,5 cm. Durch die unterschiedliche Länge ergab sich nach dem Hebelgesetz bei einer Auflage von 17,06 g ein Andruck an der Arbeitsseite von 50 g, entsprechend waren 34,12 g = 100 g und 51,18 g = 150 g.

Die Arbeitsseite trug eine Einspannvorrichtung für die zu untersuchenden Werkstoffe und ein Ausgleichsgewicht, um den Hebel in seinen unterschiedlichen Längenverhältnissen genau in die Waagrechte zu bringen. Die Einspannvorrichtung nimmt die Werkstoffplättchen vom Format 30 x 12 x 5 mm auf einem Bohrtisch auf.

Die normalerweise bei der Patientenbehandlung angewandte wischende Arbeitsweise sollte von der Versuchsapparatur nachgeahmt werden, so daß der Bohrer in einer Hin- und Herbe-

wegung das Prüfmaterial abtrug. Dazu mußte das Handstück so gelagert werden, daß es einmal eine Schwenkbewegung ausführte, andererseits dem Andruck von seiten des Hebels nicht nachgab. Dieses erreichten wir dadurch, daß wir vor der Arbeitsseite des Hebels eine U-förmig gebogene Konsole auf dem Bodenbrett verschraubten. An den offenen Schenkeln der Konsole befestigten wir parallel zum Bodenbrett eine plangeschliffene Eisenplatte, darunter brachten wir eine zweite, aber etwas kleinere Eisenplatte an, die so befestigt wurde, daß sie horizontale Bewegungen zuließ. An der Unterseite der letztgenannten, kleineren Eisenplatte montierten wir ein Führungsrohr, in welches das Handstück hineingesteckt wurde und mit einer Klemmschraube festgedreht werden konnte. Die untere bewegliche Platte wird von einem Elektromotor von 68 Umdrehungen pro Minute mittels einer Scheibe, die eine exzentrische Bohrung trägt über eine Koppelstange hin und her bewegt. Wir erreichten auf diese Weise eine horizontale Schwenkbewegung, außerdem wird der vom Hebelarm ausgeübte Druck nicht gedämpft, weil die beiden plan aneinanderliegenden Eisenplatten dieses nicht zuließen.

Durch eine entsprechende Vorrichtung, die an der Belastungsseite des Hebelarms angriff, konnte das eingespannte Prüfplättchen dem jeweils im Handstück befindlichen Bohrer genähert und zum Arbeitseinsatz gebracht werden. Hierdurch wurde Beginn und Ende der Arbeitszeit manuell bestimmt.

Die Höhe des Hebels mit eingespanntem Plättchen einerseits und der Halterung mit befestigtem Handstück und eingeführtem Bohrer andererseits, wurde so gewählt, daß die Auflagefläche der walzenförmigen Bohrer und die Oberfläche des eingespannten Prüfplättchens plan aufeinander lagen, so daß beim Bohrvorgang sofort die ganze Schneide des Bohrers zum Einsatz kam (siehe Abb. 5).



Abb. 5

Bohrer und Prüfplättchen zu Beginn des Bohrvorgangs

In horizontaler Richtung wird beim Bohrvorgang vom Bohrer durch schichtweises Abtragen des Prüfplättchens ein bogenförmiges Arbeitsfeld gestaltet, weil durch die Hin- und Herbewegungen des Bohrers auf dem festeingespannten Plättchen der Ausschnitt einer Kreisform herausgearbeitet wird.

Die Geschwindigkeit, mit der der sich konstant drehende Bohrer bei der horizontalen Schwenkbewegung über das Arbeitsfeld gezogen wurde, begann in der äußersten Extensionsstellung mit Null, passierte die Mitte des Arbeitsfeldes am schnellsten und näherte sich in der vorderen Extensionsstellung wieder dem Wert Null.

Der Geschwindigkeitsanstieg, -höhepunkt und -abfall und der umgekehrte Vorgang ist mit dem Verlauf einer Sinuskurve zu vergleichen.

Da die Drehzahl der Bohrer während des Bohrvorganges konstant blieb, konnte der Bohrer an den Prüfplättchen aus eben beschriebenen Grund in den beiden Extensionsstellen jeweils am meisten herausbohren, schaffte also in den beiden äußersten Stellen eine kleine Vertiefung, während sich die

Mitte des Arbeitsfeldes, über die sich der Bohrer am schnellsten bewegte, hügelartig erhob.

Bei längeren Bohrzeiten, höheren Drucken und Tourenzahlen wurden die 5 mm dicken Werkstoffplättchen fast durchgeschliffen. So entstand in vertikaler Richtung ein zweiter bogenförmiger Arbeitsvorgang, bei dem durch den winkelförmigen Andruck des Prüfkörpers vom Hebel her, der Andruck auf den Schneidenanteil in der Nähe des Bohrerschaftes ständig vergrößert wurde.

Deshalb mußte die Schneidenauflage auf den Prüfplättchen zu Beginn eines jeden Bohrversuchs mit der Lupe kontrolliert werden, weil sonst bei ungenauer Schneidenauflage der unbelegte Bohrerschaft auf dem Prüfwerkstoff rotierte und den vorderen Schneidenanteil des Bohrers nicht mehr zum Einsatz kommen ließ.

Die Bohrausbeute bestimmten wir mit einer METTLER-Analysenwaage vom Typ B6, indem wir die Plättchen vor und nach dem Bohrvorgang wogen. Die benutzte Waage hatte einen Wägebereich von 0 bis 100 g. Die Einstellung der 10 g -Werte, der 1 g - und 0,1 g -Werte erfolgte von Hand aus. Die Werte von 0,01 g und 0,001 g spielten sich elektrisch auf einer Walze ein, die Werte von 0,0001 und 0,00001 g mußten wieder manuell mit einer Noniusskala eingestellt werden. Wir konnten Werte mit der Genauigkeit von 0,05 mg ablesen, die von 0,01 mg konnten an der Noniusskala geschätzt werden.

Als Antrieb für den Bohrer oder Schleifkörper diente eine fahrbare Dental-Einheit der Firma SIEMENS vom Typ DEXTRADONT. Die Maschine war mit einem Langsam- und einem Schnellgang ausgerüstet und besaß einen vierstufigen Fußschalter. Wir benutzten einmal die normale Übersetzung am Doriotgestänge und zum anderen die Supra-Schnell-Lauf-Gleitverbindung Nr. 419 der Firma KALTENBACH und VOIGT.

Unsere Untersuchungen führten wir bei nachfolgenden Umdrehungsgeschwindigkeiten, die mit dem mechanischen Drehzahl-

messer DEUMO 2 der Firma DEUTA Werke Berlin bestimmt wurden durch: 1 300, 2 500, 5 000, 10 500 und 22 000 Umdrehungen pro Minute.

In Vorversuchen stellten wir fest, daß die Bohrmaschine immer eine bestimmte Zeit benötigte um eine geforderte Geschwindigkeit zu erreichen. Die Geschwindigkeiten bis 8 000 U/Min. wurden innerhalb von 5 Sekunden erreicht. Die Tourenzahlen von 10 500 U/Min. brauchten eine Vorlaufzeit von 20 Sekunden und die von 22 000 U/Min. sogar eine solche von 30 Sekunden. Diese Vorlaufzeiten haben wir bei den später durchgeführten Versuchen berücksichtigt.

Die Tourenzahl der Bohrmaschine unterliegt geringfügig den Schwankungen des Stromnetzes, stärker jedoch der Spannung der Schnur am Doriotgestänge. Je schlaffer die Schnur über den Rollentrieb des Gestänges lief, desto höher war die endgültige Drehzahl. Deshalb durften wir nach der Messung der Tourenzahl am Handstück, die Spannung der Schnur am Doriotgestänge nicht mehr verändern. EICHNER bezeichnet den Geschwindigkeitsverlust von der Bohrmaschine zum Handstück als Schlupf.

Als Handstück benutzten wir ein Erzeugnis der Firma KALTENBACH und VOIGT aus der Supra Typenreihe (Handstück Nr. 210 W). Diese sind speziell für Drehzahlen bis ca. 25 000 U/Min. entwickelt worden. Sie weisen eine weniger breite Lagerung als die normalen Handstücke auf, wodurch die Reibungswärme herabgesetzt wird. Die Reduzierung der Reibungswärme geht jedoch auf Kosten der Vibration. Das fabrikneue Handstück wurde regelmäßig gereinigt, geölt und nachgespannt. Gerade letzteres war wichtig, weil ein unrunder Lauf der Bohrer unsere Meßergebnisse beeinflussen mußte.

Wir brachten eine Markierung am Handstück an, bis zu der es in das Führungsrohr an der Handstückhalterung eingeführt wurde, damit jedesmal die gleichen Druckverhältnisse zwischen Bohrerschneide und Plättchenoberfläche herrschten.

Für unsere Zeitmessungen verwendeten wir eine JUNGHANS-Uhr mit großem Sekundenrundlaufzeiger.

2. Untersuchungsmaterial

a) Ersatzwerkstoffe für Dentin und Schmelz

In der zahnärztlichen Praxis bearbeiten wir mit den verschiedenen Bohrern, wenn von der Entfernung alter Füllungen und dem Schleifen an Kunststoff oder anderen zahnärztlichen Werkstoffen abgesehen wird, Schmelz, Dentin oder beide Zahnhartsubstanzen zusammen.

Für den Zahnarzt wäre es demnach wissenswert zu erfahren, welche Leistungen die Bohrer an den Zahnhartsubstanzen selbst vollbringen.

In unserer Arbeit beschränkten wir uns auf die Feststellung des Leistungsvermögens an Dentin.

Die Härtewerte für Schmelz und Dentin sind von Zahn zu Zahn unterschiedlich, da sie vom Alter des Zahnes, seinem strukturellen Aufbau und pathologischen Veränderungen abhängig sind. Auch nimmt die Härte an einem Zahn zum Beispiel am Schmelz von cervical nach incisal zu (KARLSTRÖM).

Wir versuchten Ersatzwerkstoffe zu finden, die in ihrer Härte dem Schmelz und andererseits dem Dentin möglichst nahe kamen.

Die aus der Literatur bekannten Schmelz- und Dentinhärte-
werte betragen 320 und 72 Vickershärtegrade. (SAUNSBURY,
AKTINSON)

Als Ersatzstoff für Schmelz bot sich ein Bleiglas zum Schutz gegen Röntgenstrahlen der DEUTSCHEN SPIEGELGLAS AG an, das sich nach Messungen mit dem Kleinhärteprüfer DURIMET der Firma LEITZ Wetzlar in seinen Härtegraden dem Schmelz als sehr ähnlich erwies.

Wir erzielten mit einer Prüflast von 100 g aus mehreren Messungen einen Mittelwert der Pyramidendiagonalen von 23, nach der Tabelle entspricht das 351 Vickers-Härtegraden.

Als Ersatzwerkstoff für Dentin fanden wir das drehselbare Edelkunstharzprodukt DEKORIT L Nr. 102 O weiß-opal der Firma Dr. F. RASCHIG GmbH Ludwigshafen. Dieses DEKORIT ist ein Phenol-Formaldehydharz, das keine Füllstoffe enthält und auch bei

stärkster Belastung und damit Hitzeentwicklung keinerlei Schmiereffekt zeigte, so daß niemals die Rillen der verwendeten Bohrer zugesetzt wurden.

Die Härteuntersuchungen für dieses Kunstharzprodukt wurden mit dem Zeiss Mikrohärteprüfer nach HAMMAN Modell D 30 durchgeführt. Das verwendete Mikroskop war ein Zeiss-Neophat mit dem Meßobjektiv APO 60 x 0,95, der eingestellte Aperturblendenwert betrug 2,5. Der Mikrometerwert des Meßokulars σ betrug $0,163 \mu$ / Strich.

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

Okularmikrometerablesung					Prüflast Mikrohärte kg/mm^2	
Nr.	m in Teilstr.	$\langle m \rangle$	$d(\mu)$	$d^2(\mu)$	P(g)	Hm
1	33,1				2	
2	33,4				2	
3	32,9				2	
4	33,0				2	
5	33,5	33,2	5,42	29,4	2	126 H 5μ
6	53,7				5	
7	54,2				5	
8	53,8				5	
9	53,7				5	
10	54,1	53,8	8,76	76,7	5	121 H 10μ

Tabelle 1 Härtemessung an DEKORIT L Nr. 102 weiß-opal

$\beta = 22^\circ$ = Pyramidenwinkel der Vickerspyramide

p = Prüflast

d = Diagonallänge der Eindrücke in μ

Hm = mittlere Mikrohärte

m = Ablesung der Eindrucksgröße
in Teilstrichen

$$Hm = \frac{2P \times \cos \beta}{d^2}$$

$$d = m \times \sigma$$

Makrohärte $\hat{=}$ H 10μ

Makrohärte = $120 \pm 10 \text{ kg/mm}^2$

Bis ungefähr 10μ Eindruckswert spricht man von Mikrohärt, darüberhinaus von Makrohärt. Weil hier die Vickershärtegrade also die Makrohärt interessiert, wurden die Mikrohärtewerte in geschätzte Makrohärtewerte übertragen.

Wenn wir künftig von Bohr- oder Schleifarbeit an Dentin sprechen, so meinen wir damit die Bearbeitung dieses Ersatzwerkstoffes.

Um keine Verwechslung auszulösen, setzen wir in diesem Fall Dentin in Anführungszeichen.

b) Verwendete Bohr- und Schleifinstrumente

Für unsere Untersuchungen verwendeten wir nachfolgende Bohr- und Schleifinstrumente der Firma GEBRÜDER BRASSELER Lemgo/Lippe:

- 1) Fissurenbohrer ohne Querhieb für Handstück
 - a) mit geraden Schneiden KOMET Figur 12
Größe 0, 3, 4 siehe Abb. 6,a
 - b) mit gewundenen Schneiden KOMET Figur 13
Größe 0, 3, 4 siehe Abb. 6,b
- 2) Fissurenbohrer mit Querhieb für Handstück
 - a) mit geraden Schneiden KOMET Figur 7
Größe 0, 3, 4 siehe Abb. 6,c
 - b) mit gewundenen Schneiden KOMET Figur 17
Größe 0, 3, 4 siehe Abb. 6,d

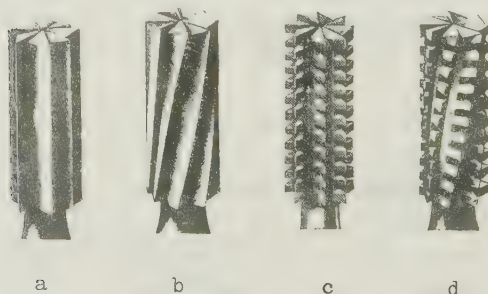


Abb. 6

Die verschiedenen Konstruktionen der
Stahlfissurenbohrer.

- 3) Hartmetallbohrer ohne Querhieb für Handstück
mit gewundenen Schneiden KOMET Figur 13 H
Größe 0, 3, 4 siehe Abb. 7,c
- 4) Hartmetallbohrer mit Querhieb für Handstück
mit gewundenen Schneiden KOMET Figur 14 H
Größe 0, 3, 4 siehe Abb. 7,b
- 5) Diamantschleifkörper für Handstück KOMET Figur 70 D
Größe 3, 4 siehe Abb. 7, a

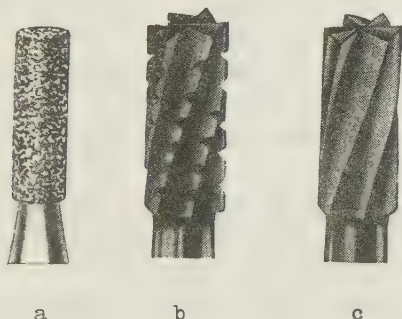


Abb. 7

Walzenförmiger Diamantschleif-
körper und zwei Typen von Hart-
metallfissurenbohrern

An dieser Stelle möchte ich der Firma GEBRÜDER BRASSELER
Lemgo/Lippe meinen Dank aussprechen für die Unterstützung
der Arbeit, indem sie mir alle Bohr- und Schleifinstrumente
zur Verfügung stellte und mir auch technische Fragen be-
reitwillig beantwortete.

IV. Untersuchungsergebnisse

1. Einfluß von Druck, Zeit und Drehzahl auf die Bohrausbeute von sieben Bohrerarten, von je drei Größen bei Rechtslauf der Bohrmaschine.

In diesem Versuch ging es darum, die Leistungskraft der verschiedenen Bohrerarten bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen im "Dentin" zu messen. Hierzu benutzten wir die zuvor beschriebenen Bohrerarten in den Größen 0, 3 und 4 sowie den walzenförmigen Diamantschleifkörper der Größe 3 und 4.

Folgende Tourenzahlen fanden Verwendung: 1 300, 2 500, 5 000, 10 500 und 22 000 Umdrehungen pro Minute bei rechts-umlaufender Bohrmaschine.

Die Druckwerte legten wir mit 50, 100 und 150 g fest, die Zeitwerte mit 5, 10 und 15 Sekunden.

Zur Errechnung eines Mittelwertes führten wir jeden Versuch dreimal durch.

Die Bohrer wurden nach 60 Sekunden Arbeitszeit, bei hohen Druck- und Drehzahlwerten schon früher, jedoch dann gleichmäßig für alle Typen ausgewechselt.

Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen und Diagrammen zusammengestellt, wobei die Bohrausbeute in 0,01 mg-Werten angegeben ist.

Die verschiedenen Bohrerarten nummerierten wir von 1 bis 7, es bedeutet:

- 1 = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 12)
- 2 = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 7)
- 3 = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 13)
- 4 = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 17)
- 5 = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 14 H)
- 6 = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 13 H)

7 = walzenförmige Diamantschleifkörper (KOMET, Figur 70 D)

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	Druck	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
0	50	1300	15	25	20	35	15	20	--
		2500	35	45	40	75	35	45	--
		5000	75	110	90	145	85	120	--
		10500	150	240	200	300	210	290	--
		22000	320	420	370	650	440	600	--
0	100	1300	25	45	35	55	25	30	--
		2500	55	110	80	140	60	75	--
		5000	150	270	180	340	165	190	--
		10500	330	590	450	860	410	455	--
		22000	870	1420	1120	2280	1200	1300	--
0	150	1300	40	70	55	85	40	50	--
		2500	90	160	145	205	110	130	--
		5000	210	380	330	460	270	315	--
		10500	540	960	865	1180	690	740	--
		22000	1250	2340	2040	2855	2135	2335	--

Tabelle 2

Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten bei
rechtsumlaufender Bohrmaschine. Bohr-
zeit = 5 Sekunden

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	Druck	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
3	50	1300	20	35	25	40	20	25	15
		2500	45	90	65	105	50	60	20
		5000	95	250	150	240	110	145	30
		10500	240	610	385	620	270	360	60
		22000	580	1520	915	1490	830	1155	140
3	100	1300	35	70	50	85	30	40	25
		2500	85	170	130	195	75	95	35
		5000	210	420	290	470	175	255	50
		10500	485	1080	735	1040	415	610	110
		22000	1260	2435	1595	2585	1385	1740	460
3	150	1300	60	105	85	135	50	60	50
		2500	155	265	200	330	120	140	65
		5000	370	615	480	810	290	380	90
		10500	890	1490	1250	1945	730	1020	200
		22000	2265	3690	3060		2380	2980	920

Tabelle 3

Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten bei
rechtsumlaufender Bohrmaschine. Bohr-
zeit = 5 Sekunden

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	Druck	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
4	50	1300	30	55	40	65	35	45	20
		2500	75	145	95	165	85	110	25
		5000	190	355	250	390	215	265	35
		10500	465	830	610	920	540	630	75
		22000	1105	2080	1340	2140	1210	1790	160
4	100	1300	60	100	85	140	55	70	45
		2500	165	270	225	340	130	155	60
		5000	425	635	575	825	310	360	85
		10500	1075	1590	1390	2035	720	910	190
		22000	2485	3800	3400	4770	2100	2100	800
4	150	1300	95	170	140	220	80	110	65
		2500	245	390	365	590	210	255	90
		5000	610	940	890	1475	520	630	130
		10500	1560	2450	2260	3410	1230	1550	300
		22000	3765	6110	5590	8240	3570	4160	1380

Tabelle 4

Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten bei
rechtsumlaufender Bohrmaschine. Bohr-
zeit = 5 Sekunden

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	Druck	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
0	50	1300	30	55	35	75	35	45	--
		2500	70	95	80	140	80	110	--
		5000	170	200	190	320	180	220	--
		10500	360	430	280	720	400	480	--
		22000	760	900	730	1380	920	1100	--
0	100	1300	45	90	75	120	55	65	--
		2500	100	210	180	290	130	180	--
		5000	230	520	360	720	325	400	--
		10500	530	1360	900	1730	820	860	--
		22000	1405	3480	2300	3940	2340	2480	--
0	150	1300	85	140	110	175	80	110	--
		2500	190	360	255	435	210	270	--
		5000	450	880	615	980	525	690	--
		10500	1080	2060	1393	2460	1280	1725	--
		22000	2620	5120	3305	5215	3860	5090	--

Tabelle 5

Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten bei
rechtsumlaufender Bohrmaschine. Bohr-
zeit = 10 Sekunden

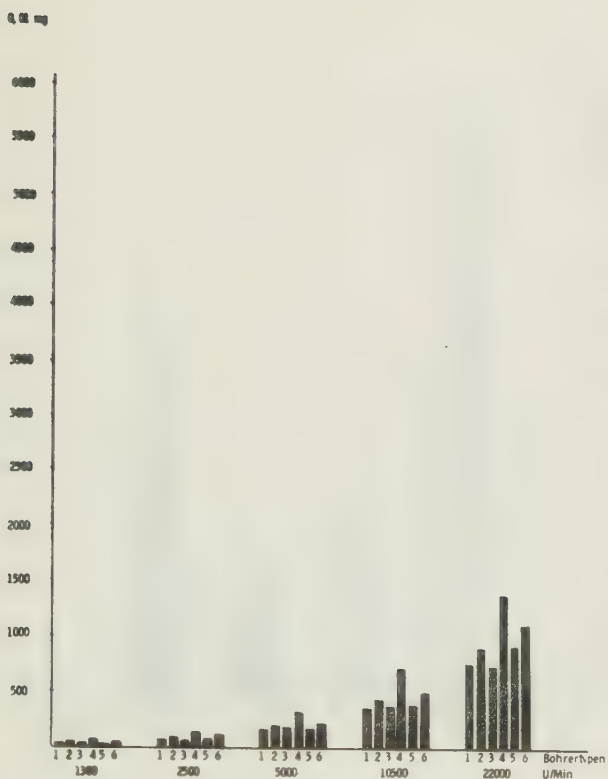


Diagramm Nr. 1

Graphische Darstellung der Bohrausbeute in 0,01 mg-Werten der verschiedenen Fissurenbohrertypen bei rechtslaufender Bohrmaschine. Bohrzeit = 10 Sekunden. Druck = 50 g, Größe 0.

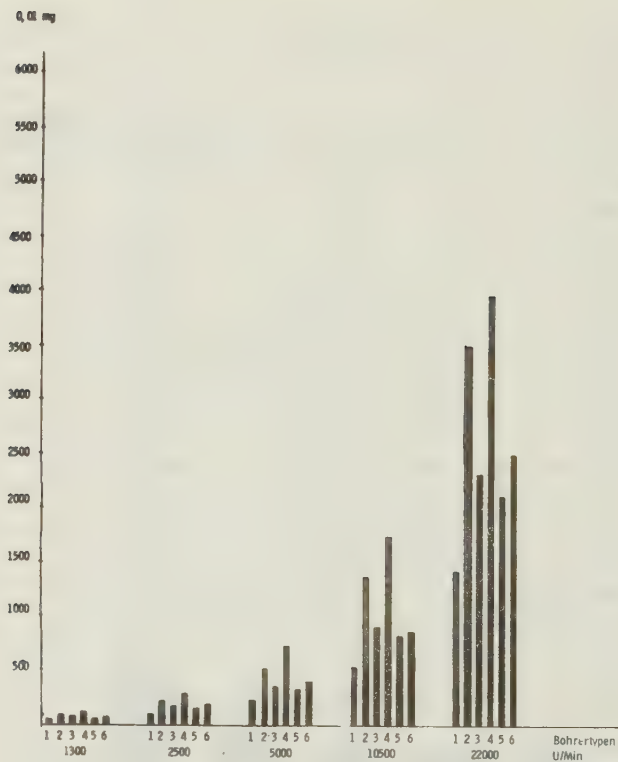


Diagramm Nr. 2

Graphische Darstellung der Bohrausbeute in 0,01 mg-
Werten der verschiedenen Fissurenbohrertypen bei
rechtslaufender Bohrmaschine. Bohrzeit = 10 Sekunden.
Druck = 100 g, Größe 0.

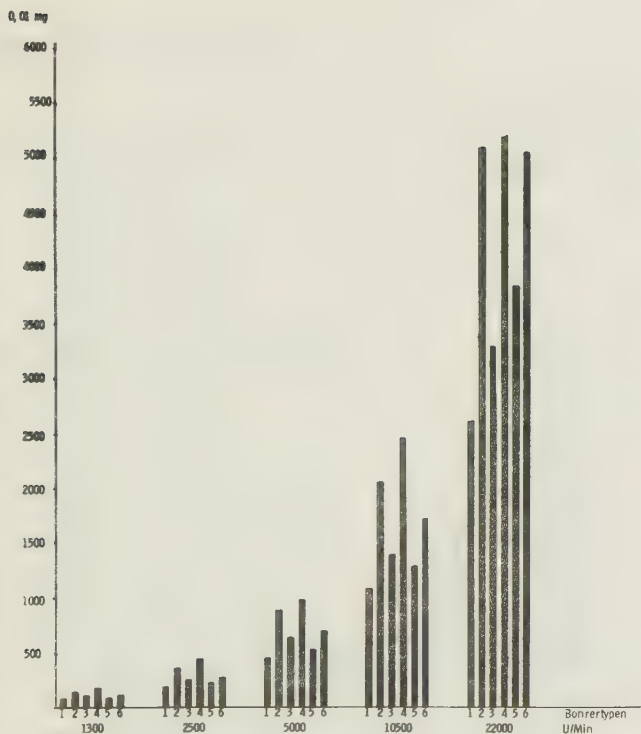


Diagramm Nr. 3

Graphische Darstellung der Bohrausbeute in 0,01 mg-Werten der verschiedenen Fissurenbohrertypen bei rechtslaufender Bohrmaschine. Bohrzeit = 10 Sekunden. Druck = 150 g, Größe 0.

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	Druck	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
3	50	1300	45	75	50	85	40	50	30
		2500	105	180	130	210	90	140	40
		5000	215	440	335	490	220	360	55
		10500	530	1090	845	1260	560	890	110
		22000	1290	2810	2130	3015	1800	2350	200
3	100	1300	75	155	95	155	60	90	55
		2500	170	365	225	380	140	210	70
		5000	425	890	530	915	330	490	100
		10500	1095	2250	1290	2120	760	1290	210
		22000	2610	5410	2875	4875	2520	3480	980
3	150	1300	110	220	160	255	115	125	110
		2500	275	570	390	630	285	310	125
		5000	720	1310	970	1590	690	780	180
		10500	1620	3200	2590	3820	1780	1910	420
		22000	4350	7180	6210		5300	5560	2060

Tabelle 6

Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten bei
rechtsumlaufender Bohrmaschine. Bohr-
zeit = 10 Sekunden.

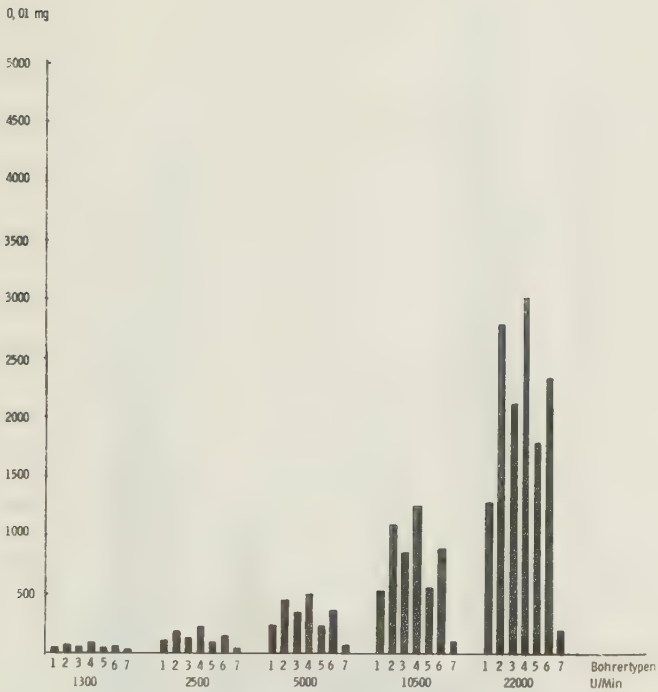


Diagramm Nr. 4

Graphische Darstellung der Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten der verschiedenen Präparationsinstrumente bei rechtslaufender Bohrmaschine. Bohrzeit = 10 Sekunden. Druck = 50 g, Größe 3.

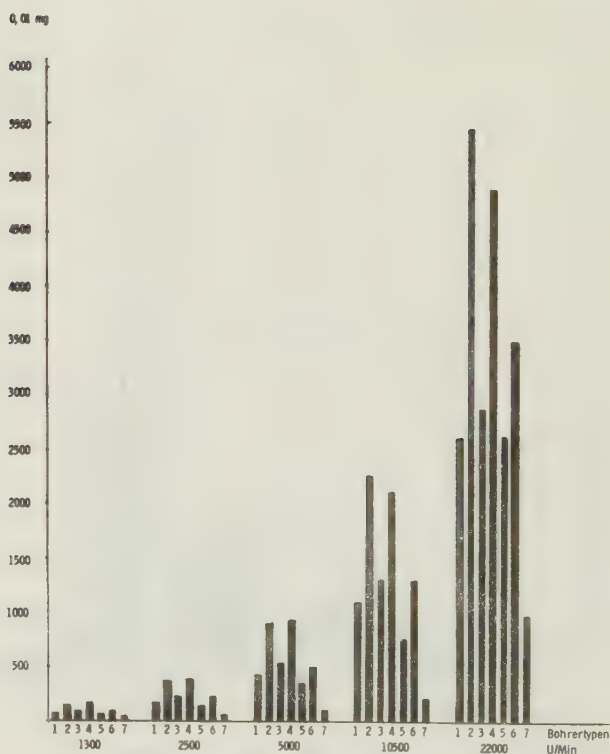


Diagramm Nr. 5

Graphische Darstellung der Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten der verschiedenen Präparationsinstrumente bei rechtslaufender Bohrmaschine. Bohrzeit = 10 Sekunden. Druck = 100 g, Größe 3.

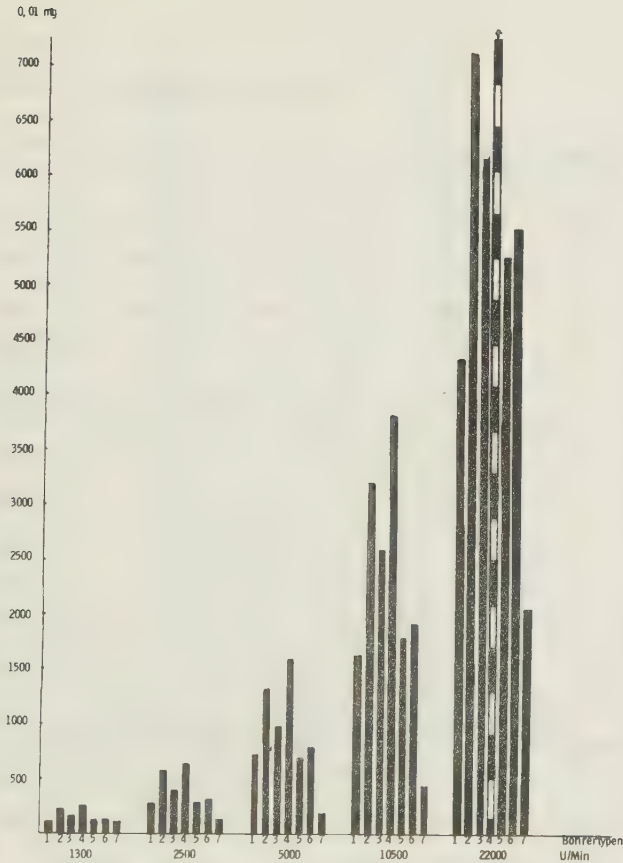


Diagramm Nr. 6

Graphische Darstellung der Arbeitsleistung in 0,01 mg-
Werten der verschiedenen Präparationsinstrumente bei
rechtslaufender Bohrmaschine. Bohrzeit = 10 Sekunden.
Druck = 150 g, Größe 3.

Schraffiert = das Prüfplättchen wurde durchgebohrt

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	Druck	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
4	50	1300	65	120	85	125	75	85	40
		2500	160	310	210	315	180	190	45
		5000	420	780	530	780	470	480	70
		10500	930	1705	1190	2370	1100	1180	140
		22000	2365	4040	2980	4815	2540	2810	400
4	100	1300	130	205	165	285	115	130	95
		2500	330	490	390	790	275	320	125
		5000	815	1205	1010	1865	780	880	170
		10500	2090	3110	2685	3815	1820	2120	400
		22000	4985	7130	6385		3980	4370	1870
4	150	1300	185	345	265	450	150	230	140
		2500	435	860	680	1180	365	570	180
		5000	1150	2095	1730	3020	840	1210	280
		10500	3085	5310	4390	7140	2190	2820	680
		22000	7140				6850		2890

Tabelle 7

Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten bei
rechtsumlaufender Bohrmaschine. Bohr-
zeit = 10 Sekunden.

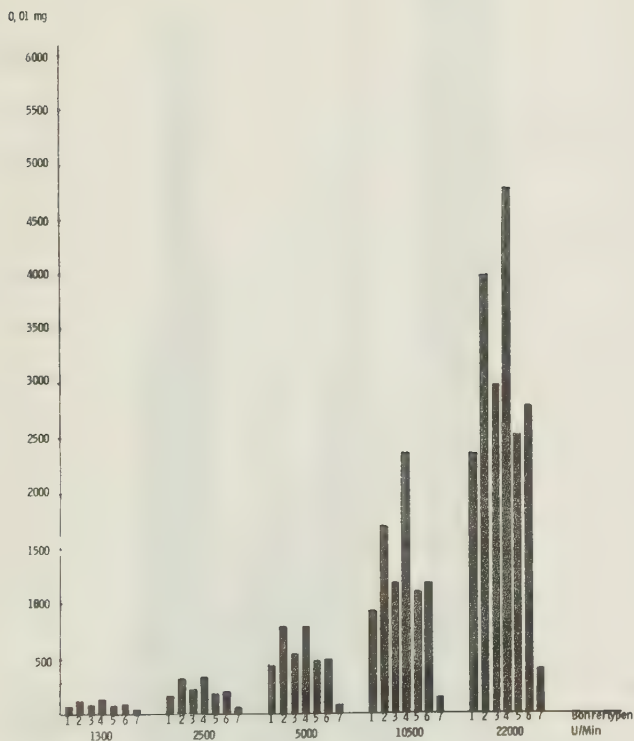


Diagramm Nr. 7

Graphische Darstellung der Arbeitsleistung in 0,01 mg-
Werten der verschiedenen Präparationsinstrumente bei
rechtslaufender Bohrmaschine. Bohrzeit = 10 Sekunden.
Druck = 50 g, Größe 4.

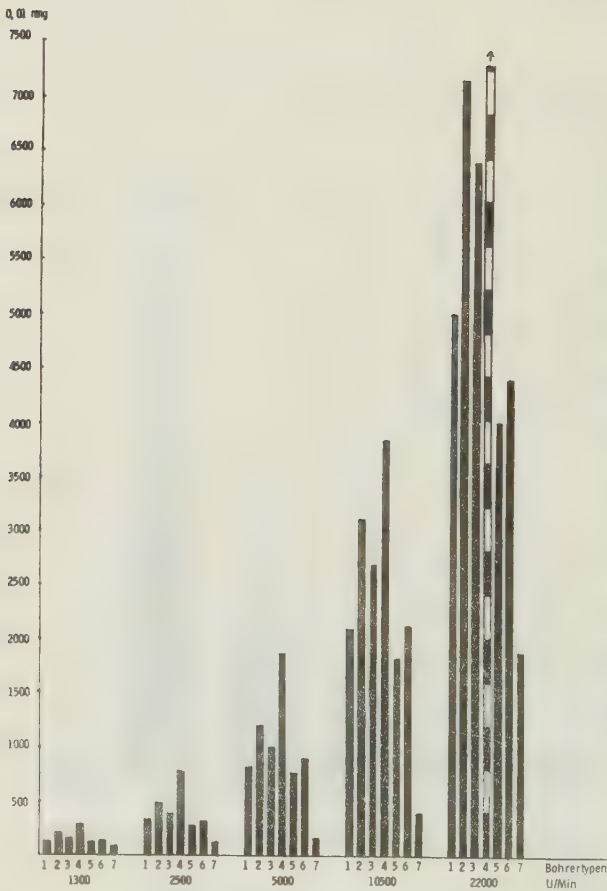


Diagramm Nr. 8

Graphische Darstellung der Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten der verschiedenen Präparationsinstrumente bei rechtslaufender Bohrmaschine. Bohrzeit = 10 Sekunden. Druck = 100 g, Größe 4. Schraffiert = das Prüfplättchen wurde durchgebohrt.

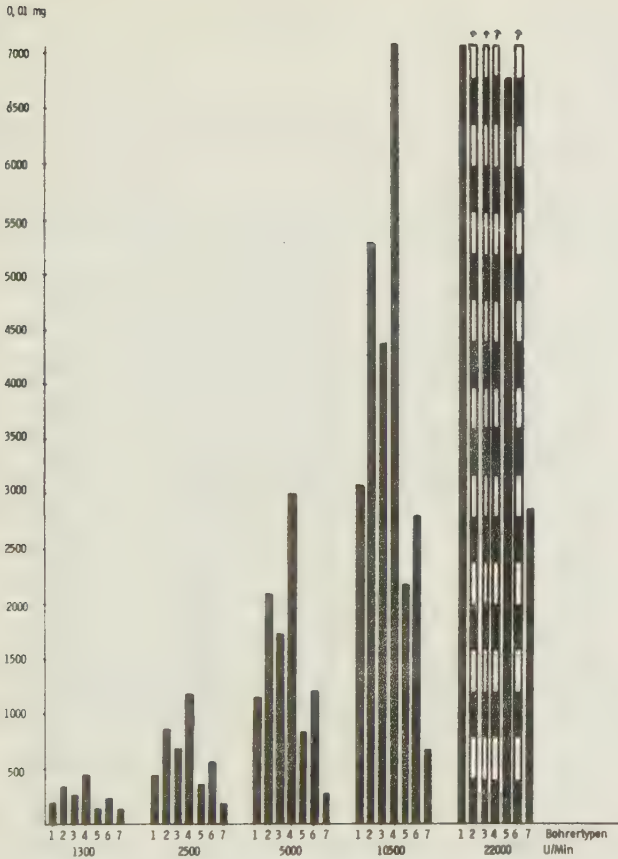


Diagramm Nr. 9

Graphische Darstellung der Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten der verschiedenen Präparationsinstrumente bei rechtslaufender Bohrmaschine. Bohrzeit = 10 Sekunden. Druck = 150 g, Größe 4. Schraffiert = das Prüfplättchen wurde durchgebohrt.

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	Druck	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
0	50	1300	45	95	55	115	50	65	--
		2500	120	165	105	240	120	155	--
		5000	280	360	230	500	250	380	--
		10500	470	850	490	1100	640	1040	--
		22000	950	1380	1110	1650	1210	1890	--
0	100	1300	80	145	125	165	80	100	--
		2500	200	360	295	390	190	230	--
		5000	450	920	680	1080	480	610	--
		10500	960	2280	1580	2520	1110	1450	--
		22000	2080	4360	3970	5860	3650	3980	--
0	150	1300	130	200	170	245	130	160	--
		2500	320	480	415	580	310	390	--
		5000	780	1180	975	1240	780	1060	--
		10500	1740	2855	2380	2765	1920	2670	--
		2200	2280	6290	5300		6040		--

Tabelle 8

Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten bei
rechtsumlaufender Bohrmaschine. Bohr-
zeit = 15 Sekunden.

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	Druck	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
3	50	1300	60	100	80	120	55	80	40
		2500	145	260	205	295	130	185	55
		5000	325	620	490	725	345	490	80
		10500	740	1530	1280	1870	880	1280	160
		22000	1710	4170	2920	4385	2630	3540	340
3	100	1300	115	220	140	235	95	130	70
		2500	240	565	355	615	230	350	100
		5000	610	1230	885	1485	520	890	145
		10500	1470	3120	2070	3420	1210	2075	330
		22000	3685	7960	4230		3830	5810	1440
3	150	1300	185	330	250	400	155	185	160
		2500	440	970	610	1090	360	445	190
		5000	1110	2140	1540	2670	840	1130	285
		10500	2770	4710	3705	5915	2210	2945	690
		22000	6030				7045		3140

Tabelle 9

Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten bei
rechtsumlaufender Bohrmaschine. Bohr-
zeit = 15 Sekunden.

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	Druck	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
4	50	1300	100	175	120	195	110	140	55
		2500	265	440	310	495	270	335	70
		5000	620	1110	780	1215	645	765	100
		10500	1480	2950	1970	3035	1580	1610	210
		2200	3060	6070	4340	6485	3280	4430	520
4	100	1300	195	315	250	415	175	220	140
		2500	295	740	640	1120	430	550	180
		5000	785	1870	1610	2980	980	1230	260
		10500	2040	4820	4100	7365	2210	2890	580
		22000	5110				5640		2630
4	150	1300	270	500	400	650	250	350	210
		2500	675	1200	1085	1680	610	830	230
		5000	1795	3080	2745	3970	1470	1980	410
		10500	4425	7410	6950		3290	4160	1020
		2200	2200						4280

Tabelle 10

Arbeitsleistung in 0,01 mg-Werten bei
rechtsumlaufender Bohrmaschine. Bohr-
zeit = 15 Sekunden.

Wie aus den Tabellen 2 bis 10 und den Diagrammen 1 bis 9 zu ersehen ist, ergibt sich eine Abhängigkeit der Arbeitsleistung von Zeit, Druck, Drehzahl sowie Größe und Typ des Präparationsinstrumentes. Auf diese Faktoren soll im folgenden genauer eingegangen werden.

a) Zeit

Bei Verlängerung der Arbeitszeit um das Doppelte, nimmt die Arbeitsleistung ebenfalls um etwa das Doppelte zu.

Bei den hohen Tourenzahlen wird durch den Andruck zwischen Bohrer und Prüfkörper die effektive Drehzahl der Bohrmaschine etwas gedrosselt, so daß die Leistungszunahme pro Zeiteinheit geringer ist als bei den niedrigen Drehzahlen.

b) Druck

Bei Druckerhöhung von 50 g auf 100 g und von 100 g auf 150 g stellten wir eine Zunahme des Arbeitseffektes fest, der zwischen dem 1,2- und 3-fachen lag. Die Diamantschleifkörper erwiesen im Drehzahlbereich von 22 000 U/Min. beim Wechsel von 50 g auf 100 g einen ungefähr 5-fachen Leistungszuwachs, beim Übergang von 100 g auf 150 g dagegen nur einen solchen vom etwa 2-fachen.

c) Drehzahl

Allgemein ergab sich bei Steigerung der Drehzahl um das Doppelte ein 2,2- bis 3-facher Anstieg der Arbeitsleistung. Die Diamantschleifkörper zeigten beim Übergang von 10 500 U/Min. auf 22 000 U/Min. einen ungefähr 3- bis 4-fachen Leistungszuwachs.

d) Größe der Präparationsinstrumente

Generell findet bei gleichen Druck- und Tourenzahlwerten beim Übergang von der Größe 0 zur Größe 3 eine 1,2- bis 1,5-fache

Leistungssteigerung statt, beim Wechsel von Größe 3 zu Größe 4 eine solche vom 1,3- bis 1,6-fachen statt.

e) Die verschiedenen Typen der Präparationsinstrumente

Aus den Versuchsreihen läßt sich feststellen, daß aus der Gruppe der Stahlfissurenbohrer diejenigen ohne Querhieb den geringsten Bohraushub erbringen. So finden wir die geringste Bohrausbeute bei den Stahlfissurenbohrern mit geraden Schneiden ohne Querhieb, diesen folgt der Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneidenverlauf ohne Querhieb, darauf der Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb, während sich der Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb als leistungsfähigster in dieser Gruppe erwies. Es nimmt der Fissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb im Vergleich zum Fissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb etwa das 1,3- bis 1,6-fache aus den Prüfkörpern heraus.

Der Fissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb hat im Vergleich zum Fissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb eine um das 1,6- bis 1,8-fach höhere Leistung. Bei den Fissurenbohrern mit gewundenen Schneiden mit Querhieb ist gegenüber den Fissurenbohrern mit schrägen Schneiden ohne Querhieb eine Leistungssteigerung um das 1,4- bis 1,6-fache festzustellen.

Der Hartmetallbohrer mit schrägen Schneiden ohne Querhieb liegt in seinen Leistungen zwischen dem Fissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb und dem Fissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb. Ist der Hartmetallbohrer mit einem Querhieb versehen, erhöht sich seine Arbeitskraft um das 1,2- bis 1,4-fache gegenüber dem Hartmetallbohrer ohne Querhieb.

Der Diamantschleifkörper zeigte bei niedriger Tourenzahl die geringste Schleifleistung. Bei 10 500 U/Min. und 22 000 U/Min. zeigte er einen besonders starken Leistungsanstieg im Vergleich zu seinen Leistungen im unteren Drehzahlbereich. In unserer Versuchsanordnung war er in jedem Falle das leistungsschwächste zahnärztliche Präparationsinstrument.

2. Arbeitsleistung einer Größe der sieben Präparationsinstrumente mit linkslaufender Bohrmaschine, bei Variation von Druck und Drehzahl und einem Zeitwert.

Da bei der Kavitätenpräparation nicht nur mit rechtslaufenden Bohrern gearbeitet werden kann, weil sonst die Gefahr besteht, daß besonders an Extensionsflächen der Bohrer auf die Außenfläche der Krone läuft und um die Krone rotiert, muß der Bohrer auch bei Linkslauf Präparationsarbeit leisten.

Deshalb ermittelten wir in 15 Sekunden Versuchsdauer mit allen sieben Präparationsinstrumenten, jedoch nur mit einer Größe bei drei verschiedenen Druck- und Drehzahlwerten die Leistung die bei linkslaufender Bohrmaschine im Vergleich zur rechtslaufenden erbracht wurde.

Wir verwendeten die sieben verschiedenen Typen der Präparationsinstrumente KOMET Figur 12, 13, 7, 17, 13H, 14H und 70D der Größe 4.

Den Zeitwert legten wir mit 15 Sekunden fest, die Druckwerte mit 50, 100 und 150 g und die Drehzahlen mit 1300, 5000 und 10 500 Umdrehungen pro Minute.

Die Ergebnisse unserer Versuche sind in den Tabellen 11, 12 und 13 sowie in den Diagrammen 10, 11 und 12 zusammengefaßt. Dabei bedeutet wiederum:

- 1 = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 12)
- 2 = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 7)
- 3 = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 13)
- 4 = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 17)
- 5 = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 14H)
- 6 = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 13H)
- 7 = walzenförmiger Diamantschleifkörper (KOMET, Figur 70D)

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
4	1300	70	80	100	140	-	-	55
		(100)	(175)	(120)	(195)	(110)	(140)	(55)
	5000	200	300	400	380	-	-	110
		(620)	(1110)	(780)	(1215)	(645)	(765)	(100)
	10500	500	900	1340	3000	-	-	200
		(1480)	(2950)	(1970)	(3035)	(1580)	(1610)	210

Tabelle 11

Die Arbeitsleistung bei linkslaufender Bohrmaschine in 0,01 mg bei 50 g Druck. Die in Klammern angegebenen Werte bedeuten die Arbeitsleistung bei rechtslaufender Bohrmaschine.

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
4	1300	120	140	160	200	-	-	130
		(195)	(315)	(250)	(415)	(175)	(270)	140
	5000	400	480	660	700	-	-	270
		(785)	(1870)	(1610)	(2980)	(980)	(1230)	(260)
	10500	1080	1480	1620	2100	40	30	540
		(2040)	(4820)	(4100)	(7365)	(2210)	(2890)	(580)

Tabelle 12

Die Arbeitsleistung bei linkslaufender Bohrmaschine in 0,01 mg bei 100 g Druck. Die in Klammern angegebenen Werte bedeuten die Arbeitsleistung bei rechtslaufender Bohrmaschine.

Typen der Präparationsinstrumente

Größe	U/Minute	1	2	3	4	5	6	7
4	1300	195	200	245	360	-	-	200
		(270)	(500)	(400)	(650)	(250)	(350)	(210)
	5000	795	920	1320	1710	70	40	390
		(1795)	(3080)	(2745)	(3970)	(1470)	(1980)	(410)
	10500	2200	3090	3580	4160	830	600	1045
		(4425)	(7410)	(--)	(3290)	(3290)	(4160)	(1020)

Tabelle 13

Die Arbeitsleistung bei linkslaufender Bohrmaschine in 0,01 mg bei 150 g Druck. Die in Klammern angegebenen Werte bedeuten die Arbeitsleistung bei rechtslaufender Bohrmaschine.

In den nachfolgenden Diagrammen 10 bis 12 ist die Arbeitsleistung bei rechtslaufender und linkslaufender Bohrmaschine wiedergegeben.



Diagramm Nr. 10

Arbeitsleistung bei links- und rechtslaufender Bohrmaschine
Größe 4, Druck = 50 g, Zeit = 15 Sekunden
Schwarz = Rechtslauf, schräg schraffiert = Linkslauf

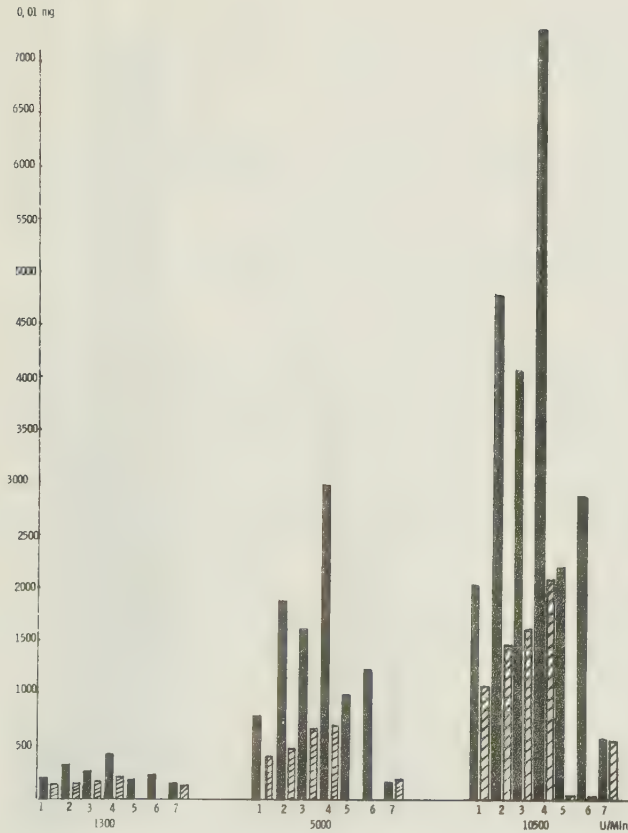


Diagramm Nr. 11

Arbeitsleistung bei links- und rechtslaufender Bohrmaschine
 Größe 4, Druck = 100 g, Zeit = 15 Sekunden
 Schwarz = Rechtslauf, schräg schraffiert = Linkslauf

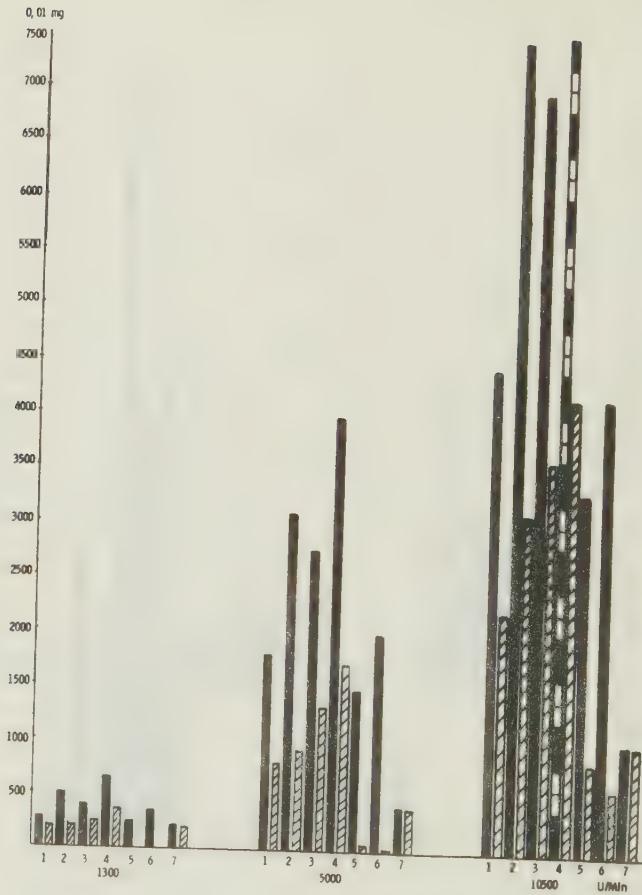


Diagramm Nr. 12

Arbeitsleistung bei links- und rechtslaufender Bohrmaschine
Größe 4, Druck = 150 g, Zeit = 15 Sekunden
Schwarz = Rechtslauf, schräg schraffiert = Linkslauf,
horizontal schraffiert = Plättchen wurde durchgebohrt

Untersuchungsergebnisse:

Wie die Tabellen 11, 12 und 13 und die Diagramme 10, 11 und 12 zeigen, erwies sich aus der Gruppe der Stahlfissurenbohrer derjenige mit geraden Schneiden ohne Querhieb als leistungsschwächster. Dieses Resultat deckt sich mit den Ergebnissen, die mit der rechtslaufenden Bohrmaschine gewonnen wurden. Etwas bessere Leistungen erzielte der Fissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb, dann folgte der Fissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb, während der Fissurenbohrer mit gewundenem Schneidenverlauf mit Querhieb die besten Ergebnisse erbrachte.

Im Vergleich zur rechtslaufenden Bohrmaschine schneidet hier der Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb schlechter ab als derjenige mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb. Aber auch hier war der Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneidenverlauf mit Querhieb am leistungsfähigsten.

Wie bei den Versuchen im Rechtslauf wirkt sich der Querhieb leistungssteigend aus.

Generell war der Effekt der Fissurenbohrer mit gewundenen Schneiden, der insgesamt sechs Schneiden hat, größer als der der achtschneidigen Fissurenbohrer mit geradem Schneidenverlauf.

Da hier ein reiner Schabvorgang stattfindet, ist demnach die Zeit, die den einzelnen Schneiden zum Einsatz zur Verfügung steht, für den Bohraushub maßgeblich.

Die Hartmetallbohrer schnitten in diesen Versuchen am schlechtesten ab. Sie hoben nur bei hohen Tourenzahlen und hohen Druckwerten etwas aus der Masse heraus. Sie zeigten den prozentual größten Leistungsabfall aller Bohrer. Der mit Querhieb versehene Hartmetallbohrer war noch leistungsschwächer als der Hartmetallbohrer ohne Querhieb.

Die Diamantschleifkörper zeigten in beiden Laufrichtungen ungefähr gleiche Leistungen.

3. Bestimmung der Standzeit der sieben verschiedenen Präparationsinstrumente bei einer Größe, einem Zeit-, Druck- und Drehzahlwert und rechtslaufender Bohrmaschine.

Standzeit

"Kennzeichen für Anlaßbeständigkeit und Verschleißhärte ist die Standzeit, d.h. Zeit bis zur Abstumpfung" (HAAKE).

Wir unterteilten diese Untersuchungen in:

a) Bestimmung der Standzeit im "Dentin"

Wir benutzten in diesen Versuchen die Präparationsinstrumente KOMET Figur 12, 13, 7, 17, 13H, 14H und 70D der Größe 3. Die Drehzahl legten wir mit 5000 U/Min. fest und den Druck mit 100 g.

Wir ermittelten die Arbeitsleistung, die ein Instrument in einer Minute erbrachte. Dann ließen wir das Präparationsinstrument fünf Minuten in "Dentin" arbeiten und bestimmten erneut die Leistung von einer Minute.

Dem folgte ein weiterer Arbeitsgang von fünf Minuten und die nächste Messung der Arbeitsleistung von einer Minute. So verfahren wir viermal und kamen insgesamt auf eine Bohrzeit von 19 Minuten.

In unseren Diagrammen und Tabellen bedeuten:

- 1 = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 12)
- 2 = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 7)
- 3 = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 13)
- 4 = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 17)
- 5 = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 14H)

- 6 = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 13H)
 7 = walzenförmiger Diamantschleifkörper (KOMET, Figur 70D)

Typen der Präparationsinstrumente

Zeit	1	2	3	4	5	6	7
1.Min.	2480	5220	3210	5450	2150	3120	640
7.Min.	1620	2220	2480	3280	2130	3100	520
13.Min.	860	735	1740	2220	2100	3050	480
19.Min.	580	450	1190	1280	1980	3020	470

Tabelle 14

Standzeit der verschiedenen Präparationsinstrumente bei Bearbeitung von "Dentin". Die Instrumente wurden insgesamt 19 Minuten benutzt, die Arbeitsleistung jedoch nur in der 1., 7., 13. und 19. Minute gemessen.

Druck = 100 g, U/Min. = 5000, Angaben in 0,01 mg-Werten.

Typen der Präparationsinstrumente

Zeit	1	2	3	4	5	6	7
1.Min.	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
7.Min.	65 %	42 %	77 %	60 %	99 %	99 %	80 %
13.Min.	34 %	14 %	54 %	41 %	97 %	98 %	75 %
19.Min.	23 %	8,6 %	37 %	25 %	92 %	97 %	73 %

Tabelle 15

Umrechnung der Werte der Tabelle 14 in Prozente, wobei die während der ersten Minute geleistete Arbeit gleich 100 % gesetzt wurde.

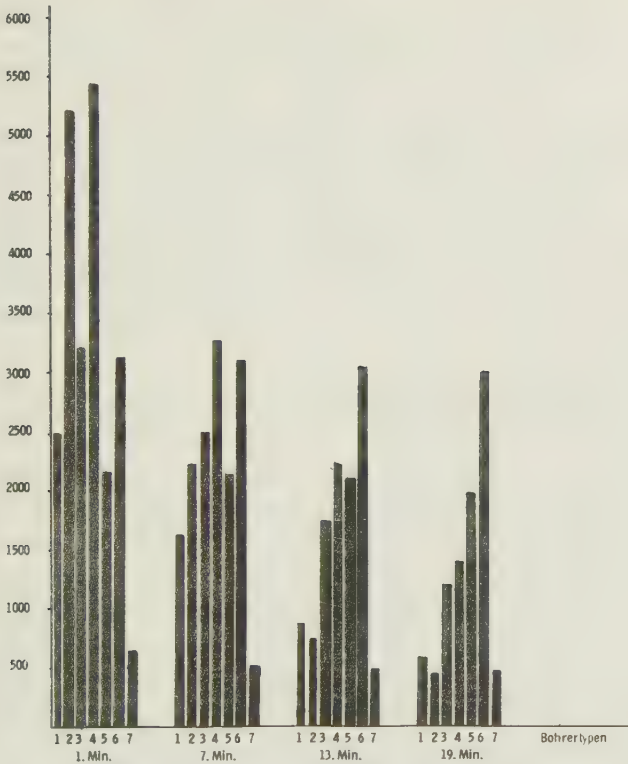
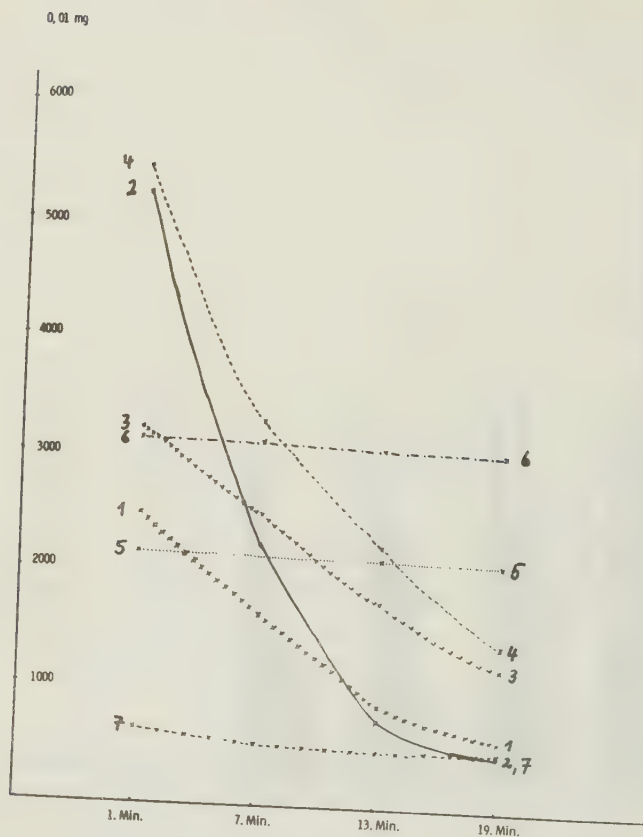


Diagramm Nr. 13

Graphische Darstellung der Standzeit der verschiedenen Präparationsinstrumente bei Bearbeitung von "Dentin". Dem Diagramm liegen die Werte der Tabelle 14 zugrunde.
U/Min. = 5000, Druck = 100 g, Angaben in 0,01 mg-Werten.



Kurve Nr. 1

Verlust der Schneidkraft der verschiedenen Präparationsinstrumente der Größe 3 bei Bearbeitung von "Dentin". Das Kurvenbild basiert auf den Werten der Tabelle 14.

Druck = 100 g, Drehzahl = 5000 U/Min., Angaben in 0,01 mg-Werten.

Entsprechend der Numerierung der einzelnen Typen der Präparationsinstrumente bedeutet:

1 = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 12)

Symbol

(xxxxxxx)

	Symbol
2 = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 7)	(—————)
3 = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 13)	(- - - - -)
4 = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 17)	(- - - - -)
5 = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 14H)	(.....)
6 = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 13H)	(-.-.-.-)
7 = walzenförmige Diamantschleifkörper (KOMET, Figur 70D)	(x--x--x)

Wie die Tabellen 14 und 15, das Diagramm 13 und die Kurve 1 zeigen, verlieren die Stahlfissurenbohrer schon bei Bearbeitung von "Dentin" sehr viel ihrer Schneidkraft.

Die Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden ließen einen besonders starken Verlust ihrer Schneidkraft erkennen.

In der 19. Bohrminute betrug die Bohrausbeute des Stahlfissurenbohrers mit geraden Schneiden ohne Querhieb noch 23 % des Bohraushubs in der ersten Minute, die des Stahlfissurenbohrers mit geradem Schneidenverlauf mit Querhieb nur noch 8,6 %.

Bei den Stahlfissurenbohrern mit gewundenem Schneidenverlauf ohne Querhieb betrug die Leistung dagegen noch 37 % und bei dem schrägverzahnten Stahlfissurenbohrer mit Querhieb noch 25 % seines Anfangsbohraushubs. Es schnitt also aus der Gruppe der Stahlfissurenbohrer der mit gewundenem Schneidenverlauf ohne Querhieb am besten ab.

Die Hartmetallbohrer verloren nur wenig von ihrer Schneidkraft, in der 19. Minute erreichte der Bohrer ohne Querhieb noch 92 % und der mit Querhieb sogar noch 97 % der Leistung, die er in der ersten Bohrminute erbracht hatte.

Der Diamantschleifkörper besaß in der 19. Minute noch 73 % seiner ursprünglichen Schleifleistung.

Allgemein schnitten in diesem Versuch die Hartmetallbohrer am besten ab.

b) Bestimmung der Standzeit in "Schmelz" und "Dentin".

Da bei der Kavitätenpräparation mit walzenförmigen Bohr- und Schleifinstrumenten in den seltensten Fällen nur eine Zahnhartsubstanz bearbeitet wird, sondern zumeist sowohl Schmelz als auch Dentin, nutzt sich das Instrument unregelmäßig und auch schneller ab.

Da wir in dem Bleiglas zum Schutz gegen Röntgenstrahlen einen, dem Schmelz ähnlich harten Ersatzstoff gefunden hatten, benutzten wir ihn hier, um die Schneiden der Bohrer und die Kristalle der Diamantschleifkörper auf einem schmelzharten Stoff rotieren zu lassen. Hierdurch war es möglich, den Verlust der Schneidkraft der Bohrer und Diamantschleifkörper, wie nach der Bearbeitung von "Schmelz" nachzuahmen.

Eine Bestimmung der Arbeitsleistung an den Glasblöckchen war bei den geringen Druckwerten, mit denen wir arbeiteten nicht möglich.

Auch führt der Aufbau des Schmelzes aus einzelnen Prismen und der organischen Zwischensubstanz bei der Bearbeitung zu einem Splitterbruch, der von einem Glas, das homogen und isotrop ist, nicht richtig nachgeahmt werden kann.

Bei unseren Versuchen gingen wir wie folgt vor: Wir bestimmten die Arbeitsleistung nach einer Arbeitszeit von einer Minute im "Dentin", ließen nun den Bohrer eine Minute auf dem schmelzharten Glasblöckchen unter gleichen Versuchsbedingungen rotieren und ermittelten wieder die Leistung von einer Minute Arbeit im "Dentin".

So arbeiteten unsere Präparationsinstrumente also abwechselnd eine Minute auf "Dentin" und dann eine Minute auf "Schmelz", zum Nachweis der nachlassenden Schneidkraft zogen wir jedoch nur die Arbeitsleistungen im "Dentin" heran.

Dabei verwendeten wir folgende Typen der Präparationsinstrumente: KOMET Figur 12, 13, 7, 17, 13H, 14H und 70D der Größe 3. Den Druck legten wir mit 100 g fest und die Drehzahl mit 5000 U/Minute.

Die Numerierung der Präparationsinstrumente ist die gleiche wie wir sie in dem Versuch zur Bestimmung der Standzeit im "Dentin" beschrieben haben.

Typen der Präparationsinstrumente

Zeit	1	2	3	4	5	6	7
1.Min.	2510	5140	3150	5550	2240	3010	600
3.Min.	570	1020	1050	925	1720	1270	500
5.Min.	410	880	680	835	1160	1020	450
7.Min.	300	175	530	740	1100	950	220
9.Min.	160	115	375	490	1030	850	150
11.Min.	110	100	250	400	980	800	120

Tabelle 16

Standzeit der verschiedenen Präparationsinstrumente bei Bearbeitung von "Schmelz" und "Dentin". Angaben in 0,01 mg-Werten.

Die 1., 3., 5., 7., 9. und 11. Minute wurde "Dentin" beschliffen und die Arbeitsleistung gemessen.

In der 2., 4., 6., 8. und 10. Minute wurde schmelzhartes Glas bearbeitet, um ein Nachlassen der Schneidkraft der Präparationsinstrumente wie bei der Bearbeitung von Schmelz zu imitieren

Bohrergröße 3, Druck = 100 g, Drehzahl = 5000 U/Min.

Typen der Präparationsinstrumente

Zeit	1	2	3	4	5	6	7
1.Min.	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
3.Min.	23 %	20 %	33 %	17 %	77 %	42 %	83 %
5.Min.	16 %	17 %	21 %	15 %	52 %	34 %	75 %
7.Min.	12 %	3 %	16 %	13 %	49 %	32 %	37 %
9.Min.	6 %	2 %	12 %	9 %	46 %	28 %	25 %
11.Min.	4 %	2 %	8 %	7 %	44 %	27 %	20 %

Tabelle 17

Umrechnung der Werte der Tabelle 16 in Prozente, wobei die während der ersten Minute geleistete Arbeit gleich 100 % gesetzt wurde.

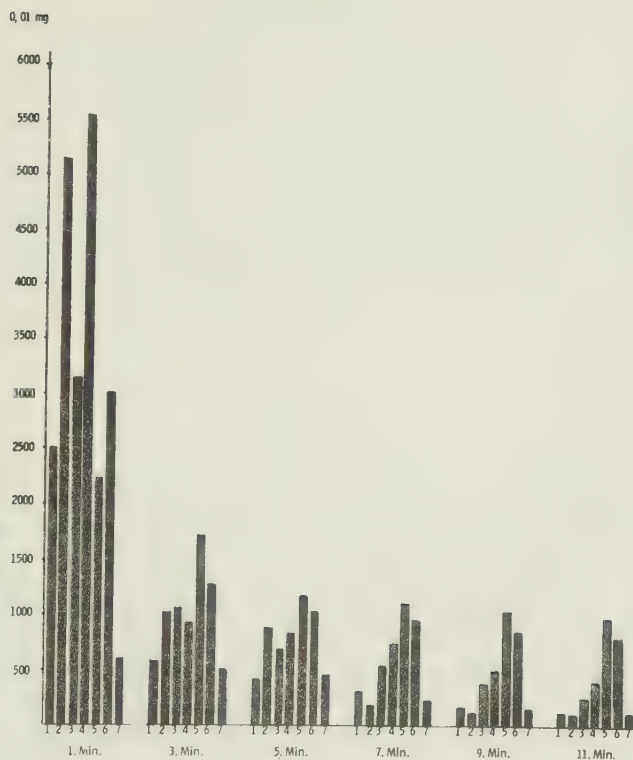
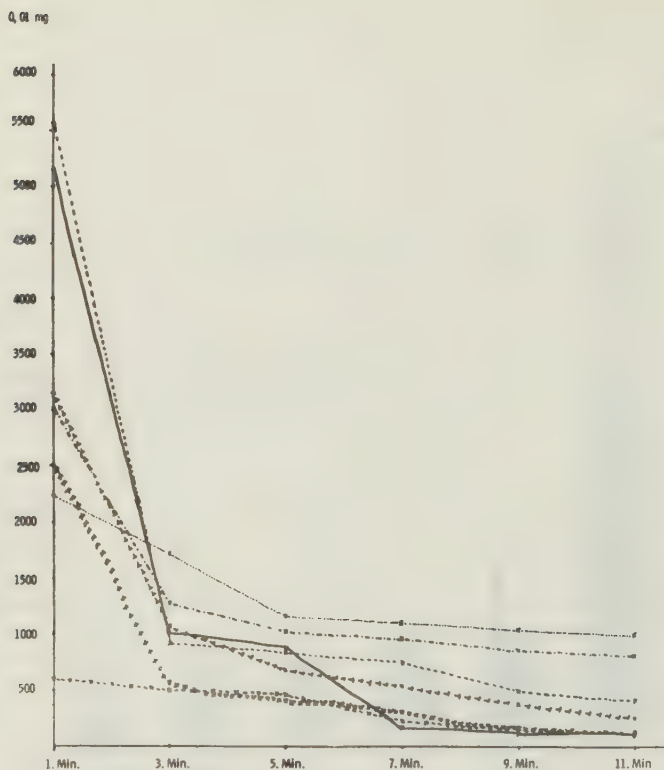


Diagramm Nr. 14

Graphische Darstellung der Standzeit der verschiedenen Präparationsinstrumente bei der Bearbeitung von "Schmelz" und "Dentin". Dem Diagramm liegen die Werte der Tabelle 16 zugrunde. U/Min. = 5000, Druck = 100 g, Bohrergröße 3, Angaben in 0,01 mg-Werten.



Kurve Nr. 2

Verlust der Schneidkraft der verschiedenen Präparationsinstrumente der Größe 3 bei Bearbeitung von "Schmelz" und "Dentin". Das Kurvenbild basiert auf den Werten der Tabelle 16. Druck = 100 g, Drehzahl = 5000 U/Min., Angaben in 0,01 mg-Werten.

Entsprechend der Numerierung der einzelnen Typen der Präparationsinstrumente bedeutet:

1 = (xxxxxxx) = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 12)

- 2 = (————) = Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 7)
- 3 = (↵ ↵ ↵ ↵) = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 13)
- 4 = (- - - -) = Stahlfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 17)
- 5 = (.....) = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden ohne Querhieb (KOMET, Figur 14H)
- 6 = (-.-.-.-) = Hartmetallfissurenbohrer mit gewundenen Schneiden mit Querhieb (KOMET, Figur 13H)
- 7 = (x--x--x) = walzenförmige Diamantschleifkörper (KOMET, Figur 70D)

Wie aus den Tabellen 16 und 17, dem Diagramm 14 und der Kurve 2 zu ersehen ist, fällt die Schneidleistung der verschiedenen Präparationsinstrumente generell stark ab.

Die Stahlfissurenbohrer erwiesen sich in diesem Versuch als besonders leistungsschwach. Der mit geraden Schneiden ohne Querhieb zeigt in der 11. Minute unserer Versuchsanordnung noch 4 % seines anfänglichen Leistungsvermögens, der mit geraden Schneiden mit Querhieb noch 2 %, derjenige mit gewundenem Schneidenverlauf ohne Querhieb 8 % und der mit gewundenen Schneiden mit Querhieb noch 7 %. Aus der Gruppe der Stahlfissurenbohrer nutzen sich also die Bohrer mit Spiralverzahnung mit und ohne Querhieb am wenigsten ab.

Die Hartmetallbohrer ohne Querhieb zeigten in der 11. Minute in unseren Versuchen noch 44 % und die mit Querhieb noch 27 % ihrer Anfangsschneidleistung. Trotz unterschiedlichen Anfangswertes erbringen sie in der 11. Minute fast gleiche Bohrleistungen.

Der Diamantschleifkörper zeigte in der 11. Minute nur noch 20 % seiner anfänglichen Schneidleistung. Allgemein betrachtet schneiden die Hartmetallbohrer bei diesem Versuch am besten ab.

Bei allen Bohr- und Schleifinstrumenten findet der größte Leistungsverlust beim Bearbeiten von "Schmelz" gleich in der ersten Minute statt.

Alle Kurven der verschiedenen Standzeiten scheinen zum Schluß tangierend zu verlaufen, das heißt, daß die Präparationsinstrumente einen Kleinstwert erreichen und diesen dann über längere Zeit halten können.

Schlußbetrachtung

Mit dem eingangs beschriebenen Bohrerprüfgerät sollten die Verhältnisse wie sie beim Präparieren in der Mundhöhle vorliegen möglichst genau nachgeahmt werden.

Dabei gab es verschiedene Schwierigkeiten zu überwinden: es galt eine Konstruktion zu schaffen, die mit geringen Druckwerten arbeitete und Schwenkbewegungen des Präparationsinstrumentes auf dem Werkstoff erlaubte. Wir entschieden uns für eine Hebelkonstruktion; andere Möglichkeiten der Druckanwendung, z.B. über ein hydraulisches System oder eine Feder, verwarfen wir, weil die Eigenschwingungen zu groß gewesen wären.

Normalerweise wird beim Exkavieren eines kariösen Zahnes ein tupfend-wischender Arbeitsgang durchgeführt. Dabei steigt der Druck von einem Kleinstwert zu einem Höchstwert, um dann durch Nachlassen des Bohrerandruckes wieder zu einem kleineren Druck abzufallen. Die Druckanwendung durch unsere Hand richtet sich nach einem Erfahrungswert. Der Andruck selbst wird durch die Beweglichkeit der Hand und die Elastizität der Fingerkuppen gedämpft. Berücksichtigt man, daß der Zahn durch sein Parodontium auch noch elastisch aufgehängt ist, so kann gesagt werden, daß der Bohrer beim Eingreifen in die Zahnhartsubstanz eine gewisse Dämpfung erfährt, das System also nicht starr ist. In unserer Versuchsanordnung spannten wir das Handstück fest ein und mußten deshalb dynamische Kräfte, die von seiten der Bohrer (Exzentrizität), des Handstücks (nachlassende Kraft der Spann- zange) oder durch die Form des Schleiffeldes an unseren Prüf- körpern auftraten mit in Kauf nehmen.

Es war also nicht möglich die in der Mundhöhle herrschenden Verhältnisse genau auf die Versuchsanordnung zu übertragen, jedoch erlaubte die Versuchsanordnung einen Vergleich der einzelnen Typen der Präparationsinstrumente.

Die oben beschriebenen dynamischen Kräfte, die Reibung, die in einem solchen System existiert und schließlich die Resonanz, die bei einer bestimmten Drehzahl in der Versuchsanordnung auf-

tritt, stellen zwar Fehler dar, die jedoch gleichmäßig in alle Untersuchungen eingingen und deshalb von uns nicht berücksichtigt zu werden brauchten.

Die Bestimmung der Arbeitszeit der Bohrer geschah durch manuelle Bedienung des Hebels und wurde auf einer Uhr mit großem Rundlaufsekundenzeiger kontrolliert. Hierin liegt jedoch der Fehler daß die Bohrzeit eventuell um Bruchteile von Sekunden verlängert oder verkürzt wurde, was sich naturgemäß bei Versuchen mit kurzer Dauer stärker auswirken müßte.

Von verschiedener Seite wurden schon Untersuchungen über den Effekt von Zahnbohrern angestellt, doch meist mit erheblich größeren Druckwerten z.B. 1, 2, 3 kg (MALLEBRE, FUHR, MENTLER, SEYPPPEL, GASSMUS u.a.) und vor allem in einer anderen Versuchsanordnung.

Wir wählten Druckwerte, wie sie beim vorsichtigen Präparieren in der Mundhöhle angewendet werden. Diese in Vorversuchen ermittelten Werte, waren auch aus versuchstechnischen Gründen angezeigt. Bei zu hoher Druckanwendung wurden die Prüfplättchen zu schnell durchgebohrt, so daß Versuche von 15 Sekunden Dauer nicht möglich gewesen wären. Ganz allgemein sollten beim Präparieren in der Mundhöhle hohe Drucke vermieden werden, weil bei hoher Druckanwendung und erhöhter Drehzahl die Temperatur an der Präparationsstelle ansteigt und eventuell zu einer thermischen Pulpenirritation führen kann. Nach den Darstellungen der mechanischen Schmerzursachen von EICHNER würde mit einer Temperatur- und Drucksteigerung auch die Schmerz-
zufügung größer werden.

Wir haben uns bemüht die Drehzahlwerte genau einzuteilen, trotzdem fielen sie bei Anwendung höherer Druckwerte ab. Da dieser Fehler bei unseren Untersuchungen in alle Versuche einging, beachteten wir ihn nicht.

Da es uns bei unseren Untersuchungen auf einen Leistungsvergleich der einzelnen handelsüblichen Präparationsinstrumenten (wir wählten Instrumente der Firma BRASSELER/Lemgo) ankam, konnten wir die unterschiedliche Schneidenzahl und die verschieden großen Bohr- oder Schleifflächen der einzelnen

Instrumente außer Betracht lassen. Der Durchmesser war zwar an allen von uns untersuchten Präparationsinstrumenten gleich groß. Jedoch hatten die Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden mit und ohne Querhieb eine Schneidflächenlänge von 5,0 mm, die mit gewundenen Schneiden mit und ohne Querhieb eine solche von 4,8 mm, beide Hartmetallfissurenbohrer besaßen 4,5 mm Arbeitsfeldlänge und die Schleifflächenlänge des Diamantschleifkörpers betrug 4,3 mm. Doch ist hierbei zu bedenken, daß durch den Drallwinkel bei den Bohrern mit gewundenem Schneidenverlauf die effektive Schneidenlänge wieder vergrößert wird. Dazu kam, daß die Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden - mit und ohne Querhieb - acht Schneiden besaßen, während alle anderen Fissurenbohrer eine Schneidenzahl von sechs aufwiesen.

Bei der Patientenbehandlung wird mit einem Bohrer sowohl Schmelz als auch Dentin bearbeitet. Da die Zahnhartsubstanzen in ihren Härtewerten aber stark divergieren und wir außerdem ständig Drehzahl und Andruck beim Präparieren verändern, also niemals mit gleichem Vorschub arbeiten, müssen die Hersteller unserer Bohrer bei der Festlegung der Winkelverhältnisse an den Schneiden einen Zwischenwert annehmen.

Um die Vibration, die sich beim Behandeln als Schmerz ausdrückt (EICHNER), klein zu halten, versieht man zur Erzielung eines ruhigen Laufes die Bohrer mit Spiralverzahnung (gewundener Schneidenverlauf) sowie einer großen Zahnzahl bei geringer Schnittiefe der Einzelschneide.

Wenn ein Bohrer exzentrisch läuft, seine Schneiden also nicht genau auf einem Kreis um die Bohrerachse liegen oder aber wegen einer ausgeschlagenen Buchse im Winkelkopf bzw. einer nichtgepflegten und damit gelockerten und verschmutzten Spann- zange im Handstück nicht exzentrisch gespannt werden kann, kommt es zu einem unvollständigen und vor allem unregelmäßigen Schneideneinsatz. Durch die einseitige Beanspruchung des Bohrers tritt neben erhöhter Vibration auch ein schnelles Stumpf- werden desselben ein, worauf auch in den Informationen Nr. 3 der Firma MEISINGER hingewiesen wird.

Die Dauer, die ein Bohrer scharf und benutzbar bleibt wird durch die Verschleißfestigkeit und die Wärmebeständigkeit des Bohrerwerkstoffes bestimmt. Unter Verschleißfestigkeit versteht man den "Widerstand der Bohrersehneide gegen die Schleifleistung des Spanflusses" und unter der Wärmebeständigkeit "die Fähigkeit des Bohrerwerkstoffes, den Härte-Gefügezustand bei steigender Temperatur zu halten" (MEYER). Dabei darf die Umwandlungszone nicht überschritten werden. Die Umwandlungszone ist nach MALLEBRE das Gebiet eines für jede Legierung verschiedenen Temperaturbereiches, in dem eine Änderung der Gefügeb Bestandteile erfolgt.

Da die Enthärtung unseres Bohrerstahls bei 120° Celsius beginnt, und bei 220° Celsius stattgefunden hat (SEYPPEL, MALLEBRE), andererseits nach SEYPPEL durch unsachgemäßes Bohren Temperaturen bis zu 316° Celsius entstehen können, tritt dann ein Stumpfwerden der feinen Bohrerschneiden ein, die sich im weiteren Arbeitsgeschehen rund polieren. Die geringere Bohrerschärfe wird durch zunehmenden Präparationsdruck ausgeglichen.

Nach SCHU schlägt sich die Temperatur als Anlauffarbe an den Bohrern nieder:

130° = silbergrau	277° = purpurfarben
220° = blaßgelb	280° = hellblau
230° = strohgelb	293° = dunkelblau
255° = braun	316° = schwarzblau

So kann an der Anlauffarbe eines Bohrers dessen Wert erkannt werden. Bezüglich der Kontrolle der Bohrerschärfe gibt BONSACK folgendes Verfahren an:

An einem Stativ ist eine Lupe mit dreifacher Vergrößerung befestigt. Man nimmt vier bis sechs Bohrer zwischen zwei Finger und dreht sie im Brennpunkt der Lupe um ihre Achse. Unterscheide: ein scharfer Bohrer reflektiert das Licht nicht, die Schneide erscheint schwarz - ein stumpfer Bohrer reflektiert das Licht kräftig, weil durch die Reibung des Bohrers eine Fläche an der Schneide entstanden ist. Es werden also schwarze von glänzenden Schneiden unterschieden.

Unsere Untersuchungen ergaben einen Mehraushub des schrägverzahnnten Stahlfissurenbohrers gegenüber dem gradverzahnnten. Wir erklären dieses damit, daß durch den Drallwinkel bei den mit gewundenen Schneiden versehenen Bohrern einmal der effektive Keilwinkel verkleinert und zum anderen durch die spiralige Anordnung die Schnitthaltigkeit verbessert wird und immer mehrere Schneiden im Einsatz sind. Dabei ist die Zeit, die eine Schneide pro Umlauf zum Arbeitseinsatz kommt, bei dem mit sechs Schneiden ausgerüsteten schrägverzahnnten Fissurenbohrer größer als bei dem mit acht Schneiden versehenen gradverzahnnten Fissurenbohrer.

Aus unseren Versuchen ging ferner hervor, daß der Querhieb die Leistung der Bohrer erheblich zu steigern vermag. Dies war ganz besonders deutlich bei den schräg und gradverzahnnten Stahlfissurenbohrern. Bei den von uns untersuchten Hartmetallbohrern erwies sich der Querhieb ebenfalls leistungssteigernd, jedoch nicht so stark wie bei den Stahlfissurenbohrern. Dieses erklärt sich daraus, daß im Vergleich zu den Querhiebrillen der Stahlfissurenbohrern die Hartmetallquerhiebrillen nicht so tief sind, die Schneidenschultern breiter gestaltet werden mußten und die Spanabfuhr nicht so günstig ist.

Der Unterschied der Winkelverhältnisse bei Hartmetallbohrern und Stahlbohrern wird ersichtlich, wenn man einen Hartmetallbohrer von der Stirnseite betrachtet. In eine Walze sind feine Schneiden eingelassen, der Freiwinkel ist groß, bzw. negativ. Der Walzenmantel macht also einen verhältnismäßig runden Eindruck. Demgegenüber springen beim Stahlfissurenbohrer die Schneiden zackig hervor. Dieser Unterschied kann schon festgestellt werden, wenn ein Hartmetallbohrer und ein Stahlfissurenbohrer gegen ihre Schneidrichtungen zwischen zwei Fingern gedreht werden, ersterer fühlt sich rund an, der andere läßt deutlich seine Schneiden fühlen.

Nach unseren Ermittlungen sollen die Diamantschleifkörper möglichst hochoberflächig arbeiten, wie dies auch von anderen Autoren gefordert wird (STROH, HUET, REBEL). Ihre Schleifleistung erwies sich im unteren Drehzahlbereich als sehr gering,

Joch war der Leistungszuwachs von 10 500 U/Min. an deutlich. In der Praxis werden Diamantschleifkörper weniger zur Entfernung von Dentin, als zur Schmelzbearbeitung benutzt. Da bei der Präparationsarbeit im Dentin selten höhere Tourenzahlen verwendet werden, ist der Schleifeffekt der Diamantschleifkörper dann sehr gering.

Allgemein gilt es zu bedenken, daß unser Prüfmaterial trocken war, das Dentin jedoch einen bestimmten Prozentsatz Feuchtigkeit enthält und beim Arbeiten in der Mundhöhle der Schleifeffekt kleiner wäre, weil abgetragene, feuchte Dentinpartikel bei den Diamantschleifkörpern die Kristallzwischenräume und bei den Hartmetall- und Stahlfissurenbohrern die Nuten zusetzen würden, die Spanabfuhr wäre also noch geringer. Beim Präparieren einer approximalen Kavität läßt man den Bohrer auch gegenläufig arbeiten, weil er sonst, am äußersten Ende der Extensionsfläche angelangt, auf die Außenseite der Krone rotieren würde.

Wir stellten in unseren Untersuchungen fest, daß die Leistung der Stahl- und Hartmetallbohrer bei linkslaufender Bohrmaschine weit unter denen der rechtsdrehenden Bohrmaschine lagen. Die Minderleistung der Stahl- und ganz besonders der Hartmetallbohrer erklärt sich aus den Winkelverhältnissen.

Da der Keilwinkel bei Hartmetallbohrern größer, die Schulter mit der zugehörigen Schneide in sich breiter und der Freiwinkel negativ ist, ergibt sich bei kleinen Tourenzahlen und geringen Druckwerten eine äußerst geringe Bohrleistung. Dabei ist die Entwicklung der Reibungswärme sehr groß, was sich an einer verzünderten Oberfläche unserer Prüfplättchen bemerkbar machte.

Die Diamantschleifkörper erbrachten in beiden Laufrichtungen die gleichen Ergebnisse. Bei diesen Präparationsinstrumenten stehen die Kristalle senkrecht zur Schleifebene, in beiden Drehrichtungen wird eine gleichartige Arbeit ausgeführt und deshalb auch gleiche Leistung erzielt.

Bei unseren Untersuchungen zur Standzeit stellten wir fest, daß die Stahlfissurenbohrer besonders schnell abstumpften.

Dieses erklärt sich daraus, daß die feinen Stahlschneiden wegen ihrer geringeren Härte und der kleineren Keilwinkel stärker abgenutzt werden als die der Hartmetallbohrer.

Die Querhiebkanten unterliegen einer besonders starken Beanspruchung und müssen im Vergleich zu einer durchgehenden Schneide bei gleichem Vorschub mit einem größeren Schneidkraftverlust reagieren.

Insgesamt betrachtet, kann durch geringfügigen Mehraufwand an Druck und Drehzahl oder auch an Zeit die Leistungs-differenz zwischen den einzelnen Präparationsinstrumenten weitgehend ausgeglichen werden.

Da sich aus oberflächenhistologischer Sicht die Bohrer mit durchgehenden Schneiden empfehlen und diese, im Vergleich zu den mit Querhieb versehenen Bohrern zwar eine geringere Leistung, dafür aber größere Standzeit haben, scheint mir deren Verwendung empfehlenswert.

Beim Bearbeiten von Schmelz reagiert der normale Stahlfissurenbohrer mit einem raschen Schneidkraftverlust. Deshalb halten auch wir vor allem den Hartmetallbohrer sowie die Diamantschleifkörper bei der Schmelzbearbeitung für angebracht. Zwar muß bedacht werden, daß der Hartmetallbohrer bei links-laufender Maschine sehr schlechte Ergebnisse erbringt, doch haben wir zum Beispiel bei den Turbinengeräten sowieso nur die Möglichkeit einer Drehrichtung.

Um im Gegenlauf mit der schnurgetriebenen Maschine gleiche Leistungen zu erzielen, wären Stahl- und Hartmetallbohrer, die eine umgekehrt verlaufende Schneidengestalt besitzen, angezeigt. Dadurch würde aber der Bestand an Bohrern um das Doppelte wachsen, es entstünden erhebliche Mehrkosten und es müßte auch der Zeitaufwand berücksichtigt werden, der zum Umspannen der Bohrer notwendig wäre.

Zusammenfassung

Mit Hilfe eines selbstentwickelten Prüfgerätes wurde die Arbeits- und Standzeit von sieben Präparationsinstrumenten ermittelt. Es fanden nachfolgende Instrumente der Firma GEBRÜDER BRASSELER/Lemgo Verwendung: Stahlfissurenbohrer mit gewundenen und geraden Schneiden, jeweils mit und ohne Querhieb in den Größen 0, 3 und 4, Hartmetallfissurenbohrer mit schrägen Schneiden mit und ohne Querhieb in den gleichen Größen und walzenförmige Diamantschleifkörper der Größe 3 und 4.

Die Arbeitsleistung der genannten Instrumente untersuchten wir an DEKORIT, einem dem Dentin ähnlich harten Ersatzstoff, mit 50, 100 und 150 g Andruck bei einer Versuchsdauer von 5, 10 und 15 Sekunden und 1 300, 2 500, 5 000, 10 500 und 22 000 Umdrehungen pro Minute.

Unsere Versuche ergaben: Doppelte Arbeitszeit führt zu ungefähr doppelter Arbeitsleistung. Zweifache Drehzahl steigert die Leistung um das 2,2- bis 3-fache, Verdoppelung des Druckes ergibt einen 1,2- bis 3-fach höheren Aushub. Beim Übergang von Größe 0 zu Größe 3 nimmt die Leistung um das 1,2- bis 1,5-fache zu, von Größe 3 zu Größe 4 um das 1,3- bis 1,6-fache.

Ferner zeigte sich bei diesen Versuchen, daß der Stahlfissurenbohrer mit geraden Schneiden ohne Querhieb die geringste Bohrausbeute erbringt; der mit schrägen Schneiden ohne Querhieb erreicht eine etwa 1,5-fach höhere Leistung. Als die leistungsstärksten Bohrer erwiesen sich die mit Querhieb, wobei die mit gewundenen Schneiden den gradgenuteten überlegen waren. Beim geradverzahnten Querhiebböhrer liegt die Bohrausbeute etwa 1,2 mal, beim schrägverzahnten etwa 1,5 mal so hoch als bei den entsprechenden Bohrern ohne Querhieb.

Der schrägverzahnte Hartmetallfissurenbohrer ohne Querhieb lag mit seiner Leistung zwischen den grad- und schrägverzahnten Stahlfissurenbohrern ohne Querhieb; der Querhieb erbrachte bei diesem Bohrertyp einen etwa 1,3-fachen Mehraushub. Die Diamantschleifkörper waren bei diesen Versuchen die leistungsschwächsten aller Präparationsinstrumente.

Außerdem wurden Untersuchungen mit links- und rechtsdrehender Bohrmaschine mit den gleichen Instrumenten, jedoch nur in der Größe 4, den Druckwerten 50, 100 und 150 g sowie den Drehzahlen 1 300, 5 000 und 10 500 U/Min. bei 15 Sekunden Versuchsdauer durchgeführt.

Im Linkslauf stellte sich der schrägverzahnte Querhieb-stahlfissurenbohrer als leistungsstärkster heraus, es folgten der schrägverzahnte Bohrer ohne Querhieb, der gradverzahnte Querhiebböhrer und der gradverzahnte Bohrer ohne Querhieb. Während die Hartmetallbohrer mit und ohne Querhieb einen äußerst geringen Bohraushub erzielten, war die Leistung der Diamant-schleifkörper in beiden Laufrichtungen gleich groß.

Ferner bestimmten wir mit den oben genannten Präparations-instrumenten der Größe 3, bei 100 g Druck und 5 000 U/Min. die Standzeit und zwar zunächst im "Dentin" und anschließend kombiniert in "Dentin" und "Schmelz", wobei wir als schmelz-harten Ersatzstoff ein Bleiglas zum Schutz gegen Röntgenstrahlen auswählten. Anstelle des Dentin fand wiederum DEKORIT Ver-wendung.

Bei der Standzeitbestimmung im "Dentin" stellten wir fest, daß die gradverzahnten Stahlfissurenbohrer den stärksten Leistungsnachlaß aufwiesen. Die Hartmetallbohrer und Diamant-schleifkörper verlieren kaum an Arbeitsvermögen.

Bei der Bearbeitung von "Dentin" und "Schmelz" zeigten die gradgenuteten Stahlfissurenbohrer ebenfalls einen stärkeren Leistungsnachlaß als die schrägverzahnten, der jeweils bei den mit Querhieb versehenen Bohrern der genannten Typen am größten war. Dieselbe Feststellung machten wir bei den Hartmetall-bohrern, die sich in diesem Versuch sowohl gegenüber den Stahl-fissurenbohrern als auch gegenüber dem Diamantschleifkörper überlegen erwiesen.

Literatur

- ADLER, F. :
Über Hartmetallbohrer und den Einfluß von Vorschubkraft und Drehzahl beim Fräsen von Amalgam und Elfenbein.
In Eichner, K.: Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartsubstanzen.
München 1966
- BONSACK, Ch.Th.:
Bohren und Schleifen.
In: Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Vorträgen. Heft 13: Der kariöse Defekt im vitalen Zahn und seine Behandlung.
München 1953
- DRENDEL und ZWEILING :
Kleines ABC der Diamantinstrumente
- DRENDEL und ZWEILING :
Die systematischen Präparationen der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde.
Berlin 1959
- EICHNER, K. :
Übersicht über die Geschichte, Geräte, Zusatzinstrumente, Schleifkörper und Bohrer sowie theoretische Grundlagen.
In: Normal-,hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartsubstanzen.
München 1966

- ERGSTE, Stahlwerke : Nichtrostende und säurebeständige
Stähle der Stahlwerke Ergste AG.
Ergste über Schwerte (Ruhr)
- FALCK, K. u. WEIKART, P. : Werkstoffkunde für Zahnärzte.
3. Auflage, München 1959
- FUHR, K. : Untersuchungen eines neuen zahn-
ärztlichen Bohrers an einem neuen
Bohrerprüfgerät.
Med. Diss. Mainz 1954
- FUNKE, R. : Studie über Zahnbohrer unter be-
sonderer Berücksichtigung des So-
lila-Bohrers.
Berlin 1927
- GASSMUS, G. : Experimentelle Untersuchungen über
zahnärztliche Hartmetallbohrer.
Med. Diss. Mainz 1953
- HAAKE, H. : Spanabhebende Metallbearbeitungs-
maschinen.
In: Hütte, des Ingenieurs Taschen-
buch, Band 2, 26. Auflage.
Berlin 1936
- HERBER : zitiert nach GASSMUS
- HEUSER, H. : Oberflächenmikroskopische Unter-
suchungen über den Randschluß von
Füllungen, Teil I.
STOMA 1 , 5 (1948)

- HEUSER, H. : Oberflächenmikroskopische Untersuchungen über den Randschluß von Füllungen, Teil II.
STOMA 2, 16 (1949)
- HEUSER, H. : Das Initialstadium der Karies, vom oberflächenhistologischen Standpunkt aus gesehen.
Dtsch.zahnärztl. Zschr. 7 , 1187 (1952)
- HOUDREMONT, E. : Eisen und Stahl.
In: Hütte, des Ingenieurs Taschenbuch, Band 1. 26 Auflage, Berlin 1936
- HUET : zitiert nach FUHR
- KALDEN, K.-H. : Vergleichende oberflächenhistologische Untersuchungen über die Wirkung verschiedener Diamantschleifkörper auf Schmelz, Dentin sowie Schmelzrand bei der Verwendung der schnurgetriebenen Bohrmaschine und des Dentalairgerätes.
Med. Diss. Marburg 1965
- KARLSTRÖM : zitiert nach SÄNGER
- LEYENSETTER : Fachkunde für metallverarbeitende Berufe.
24. Auflage. Wuppertal-Barmen 1961

- MALLEBRE, C. : Der zahnärztliche Stahlbohrer und seine Arbeitsweise unter besonderer Berücksichtigung der Wärmeentwicklung untersucht an einem neuen Bohrerprüfgerät.
Med. Diss. Mainz 1954
- MEISINGER INFORMATIONEN : Hausmitteilungen der Hager und Meisinger GmbH Düsseldorf, Heft 1 - 6.
- MENTLER, E. : Vergleichende Untersuchungen über die unterschiedliche Wirksamkeit zahnärztlicher Bohrer verschiedener Fabrikate.
Med. Diss. Mainz 1955
- MEYER, W. : Fachlehre für das Metallgewerbe I und II.
Essen 1954
- MÜNCH, F. C. : Instrumentenfibel.
Heidelberg 1956
- ONTRUP, D. : Übersicht über Schleifkörper, Bohrer und Geräte zum hoch- und höchsttourigen Bohren und Schleifen
Dtsch.zahnärztl.Zschr. 15, 58 (1960)
- PACK, W. : Kleine Blankstahlfibel.
Kurzgefaßte Einführung in das Gebiet der gezogenen, geschälten, geschliffenen und kaltgewalzten Stähle.
Stahlwerke Ergste AG 1960

- PANTKE, H.: Vergleichende Untersuchungen der Oberflächenstruktur von mit Diamantschleifkörpern bearbeiteten Kavitätenwänden.
Zahnärztl. Welt/Reform 64 , 526 (1963)
- PANTKE, H.: Der menschliche Zahnschnelz im oberflächenhistologischen Bild und seine Bedeutung für die Entstehung der Karies und die Kavitätenpräparation.
Habil.Schrift Marburg 1959
- PROELL, F.W.: zitiert nach MALLEBRE
- REBEL, H.-H.: Konservierende Zahnheilkunde.
3. Auflage, München 1950
- ROSE : zitiert nach SEYPPEL
- SAUNSBURY a. ATKINSON : An investigation into the hardness of human enamel.
Brit.Dent.Journ. 94, 249 (1953)
- SÄNGER, G.: Experimentelle Untersuchungen über die Streuung der Schleifleistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper.
Med. Diss. Mainz 1955
- SCHU, F.: zitiert nach MALLEBRE

- SCHULZ, E. H. : Schnellschneidmetalle.
IN: Hütte, des Ingenieurs Taschen-
buch, Band 1. 26. Auflage.
Berlin 1936
- SEYPPEL, H. : Untersuchungen über den Einfluß
von Tourenzahl und Druck auf die
Arbeitsleistung spanabhebender
zahnärztlicher Werkzeuge.
Med. Diss. Köln 1933
- STROH, W. : Schleifleistungen zahnärztlicher
Diamanten bei hohen und höchsten
Umdrehungen.
IN: Eichner, K.: Normal-, hoch- und
höchsttouriges Bohren und Schleifen
von Zahnhartsubstanzen.
München 1966
- WALDSAX, R. : Verbessertes Bohren mit Wolfram-
karbidbohrern.
IN: Zahn-, Mund- und Kieferheil-
kunde in Vorträgen. Heft 13: Der
kariöse Defekt im vitalen Zahn und
seine Behandlung.
München 1953
- WALKHOFF, O. u. HESS, W. : Lehrbuch der konservierenden Zahn-
heilkunde.
6. Auflage. Leipzig 1960

WALSER, G. :

Experimentell-physikalische Untersuchungen über das Bohren und Schleifen mit turbinengetriebenen Instrumenten bei höchsten Drehzahlen.

Zahnärztl. Welt/Reform 61, 107
(1960)

ZELINKA, A. :

Vergleichende oberflächenhistologische Untersuchungen über die Wirkung von zahnärztlichen Fissurenbohrern auf Schmelz, Dentin sowie Schmelzrand bei der Verwendung der schnurgetriebenen Bohrmaschine und des Dentalairgerätes.
Med. Diss. Marburg 1964

Für die Überlassung des Themas und die ständige verständnisvolle Unterstützung möchte ich Herrn Prof. Dr. H. Pantke herzlich danken.

Herrn Prof. Dr.Dr. H. Heuser danke ich für die Übernahme des Correferates.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren
und Dozenten:

in Gießen:

Ankel, Grabowsky, Hanle, Kröhnke, Ludat, Mester, Rollhäuser,
Schulze, Staudinger, Thauer, Tonutti, von Denffer.

in Marburg:

Braun-Falco, Dölle, Gedigk, Grabowsky, Hamm, Hennis, Hering,
Heuser, Hornung, Janke, Korb, Krebs, Kottmeyer, Lang, Mann,
Marx, Maurath, Niessing, Pantke, Petry, Pfütz, Rosemann,
Schiff, Schmid, Siegert, Siess.

Lebenslauf

Am 13.6.1938 wurde ich als Sohn des Facharztes für Hals-Nasen- und Ohrenleiden Dr. med. Karl Mootz und seiner Ehefrau Lisel, geb. Grell in Dillenburg geboren.

Im Herbst 1944 erfolgte der Eintritt in die Volksschule Dillenburg, ab Ostern 1949 besuchte ich das Realgymnasium Dillenburg, wo ich im März 1958 die Reifeprüfung ablegte. Danach begann ich an der Justus-Liebig Universität in Gießen mit dem Studium der Medizin, wechselte kurz über zur englischen Philologie, um dann an der Philipps-Universität in Marburg Zahnheilkunde zu studieren. Im Sommer 1962 bestand ich dort das Physikum und im Sommer 1965 das zahnärztliche Staatsexamen.

Vom 1.12.1965 bis zum 28.2.1966 war ich an der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten in Marburg als Medizinalassistent tätig.

Anschließend, vom 1.3.1966 bis zum 28.2.1967 leistete ich meine Wehrpflicht ab, dabei war ich als Stabsarzt in den Zahnstationen Hildesheim und Stadt Allendorf eingesetzt.

Am 1.4.1967 übernahm ich die Verwaltung einer wissenschaftlichen Assistentenstelle an der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten an der Philipps-Universität zu Marburg an der Lahn.

